

Toepassing van bewegingssensoren in de topsport

Een kwaliteitsanalyse van de VERT

Neil Oerlemans

Bachelorproef voorgedragen tot het behalen van de graad van

Bachelor in het Vastgoed: landmeetkunde

Afstudeerrichting: indien van toepassing

Promotor : Dr. Cornelis Stal

Tweede beoordelaar: Mevr. Marie Verbeke

Academiejaar 2019-2020

1e Examenkans – 2e Examenperiode

Deze bachelorproef/scriptie is gemaakt door Neil Oerlemans, student aan de Hogeschool Gent, ter voltooiing van de bacheloropleiding Bachelor in het Vastgoed: landmeetkunde. De standpunten die in deze bachelorproef zijn verwoord, zijn louter het persoonlijke standpunt van de individuele auteur en reflecteren niet noodzakelijkerwijs de mening, het officiële standpunt of het beleid van de Hogeschool Gent.

Toepassing van bewegingssensoren in de topsport

Een kwaliteitsanalyse van de VERT

Neil Oerlemans

Bachelorproef voorgedragen tot het behalen van de graad van
Bachelor in het Vastgoed: landmeetkunde

Afstudeerrichting: indien van toepassing

Promotor : Dr. Cornelis Stal
Tweede beoordelaar: Mevr. Marie Verbeke

Academiejaar 2019-2020
1e Examenkans – 2e Examenperiode

Deze bachelorproef/scriptie is gemaakt door Neil Oerlemans, student aan de Hogeschool Gent, ter voltooiing van de bacheloropleiding Bachelor in het Vastgoed: landmeetkunde. De standpunten die in deze bachelorproef zijn verwoord, zijn louter het persoonlijke standpunt van de individuele auteur en reflecteren niet noodzakelijkerwijs de mening, het officiële standpunt of het beleid van de Hogeschool Gent.

Samenvatting

In dit eindwerk werd naar een antwoord gezocht op volgende vraag: “Hoe kunnen moderne meetsystemen, zoals de VERT, een significante bijdrage leveren in sportspecifieke prestaties?”. De vraag naar meetdata groeit niet alleen binnen de landmeetkunde, maar ook binnen andere domeinen, waarvan topsport er één is. Sinds enkele jaren is de nood aan data omtrent sportprestaties overgewaaid vanuit Amerika naar Europa. Europese sportclubs proberen data te verzamelen over de prestaties geleverd door hun spelers. Het Amerikaans bedrijf VERT ontwikkelde een *tracker* om sportspecifieke data te verzamelen. In dit eindwerk wordt de werking van deze sensor onderzocht en een kwaliteitsanalyse gemaakt van de erdoor geleverde meetwaarden in volleybal. Hiertoe vertrekken we vanuit een aantal deelvragen die samen een antwoord bieden op de hierboven vermelde onderzoeksvraag.

In het eerste deel wordt besproken welke data gemeten kan worden in volleybal. Volleybal is een sport waarbij alle delen van het lichaam aangesproken worden, waardoor verschillende parameters gemeten kunnen worden. Voor deze bachelorproef werd geopteerd om specifiek in te gaan op één soort parameter: de spronghoogte.

De keuze is dus gemaakt om spronghoogtes te meten. Er bestaan echter verschillende methodes om dit te doen. In het tweede deel worden enkele ervan besproken en wordt de link gelegd met de kern van deze scriptie, met name de VERT. De VERT is een IMU, een bewegingssensor die veelvuldig wordt aangewend in verschillende landmeetkundige toepassingen. Om dit deel af te ronden wordt de relatie besproken tussen een IMU en de landmeetkunde.

In het derde deel wordt de werking van de sensor besproken. Om de data, gemeten door de VERT, en bijbehorende meetfouten te kunnen verklaren moet eerst en vooral de werking van deze sensor begrepen worden. Daarom wordt in dit hoofdstuk de basiswerking van de verschillende componenten besproken. Tot slot wordt uiteengezet hoe men uit de *output* van deze componenten de spronghoogte kan bepalen.

In het vierde deel van de scriptie wordt een kwaliteitsanalyse uitgevoerd van de meetwaarden van de VERT. Is de data relevant en representatief? Hoe nauwkeurig meet de VERT? Zijn er meetfouten waargenomen? En zo ja, waardoor werden ze veroorzaakt? Op deze vragen probeert de kwaliteitsanalyse een antwoord te vinden.

In het vijfde en laatste stuk van dit eindwerk wordt het landmeetkundige aspect even los gelaten en wordt een voorbeeld gegeven van hoe de VERT in de praktijk gebruikt kan worden. Dit stuk werd geschreven op basis van metingen genomen tijdens de praktijk. Zo wordt een mooi beeld geschetst van hoe de VERT gebruikt kan worden in sportspecifieke prestaties, in dit geval volleybal. Het verband wordt gelegd tussen het gebruik van bewegingssensoren in de sport en het landmeetkundig aspect. Zodoende wordt aangetoond dat de landmeetkunde kan inspelen op de verhoogde vraag naar nauwkeurige meetdata in tal van andere sectoren.

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Toepassing van bewegingssensoren in de topsport: een kwaliteitsanalyse van de VERT'. Het doel van een bachelorproef is niet alleen het aanwenden van de opgedane vakkennis, maar dient ook het probleemoplossend denkvermogen van de student aan te tonen in een onderwerp van zijn of haar interesses.

Om deze reden heb ik ervoor gekozen om mijn scriptie te koppelen, niet alleen aan de landmeetkunde, maar ook aan mijn hobby, volleybal, die de laatste jaren een grote rol in mijn leven speelt. De combinatie van beide heeft gezorgd voor een groot enthousiasme en motivatie bij de opmaak van het eindwerk.

Het onderwerp is een niet-alledaags onderwerp in de landmeetkunde. Ik wou vooral in de kijker zetten dat landmeetkunde op veel andere vlakken toepassingen heeft dan in de meest voor de hand liggende. De vraag naar data stijgt in alle domeinen. Met deze scriptie beoog ik dit te kunnen aantonen.

Voor deze bachelorproef heb ik me niet enkel gebaseerd op de landmeetkundige kennis zoals statistiek, meetmethodes en hydrografie. Ik heb ook geput uit kennis vergaard tijdens voorgaande middelbare en hogere studies, waaronder elektriciteit, fysica, mechanica en wiskunde. Deze kruisbestuiving heeft gezorgd voor een intrigerend en geïntegreerd geheel; naar mijn mening een mooi en volwaardig eindwerk om de bachelor Vastgoed Landmeetkunde aan de HoGent af te ronden.

Dit eindwerk had natuurlijk nooit tot stand kunnen komen zonder de hulp van volgende mensen die ik hiervoor uitdrukkelijk wil bedanken:

- Vooreerst wens ik mijn bachelorproefpromotor, dr. Cornelis Stal, te bedanken voor het advies en de begeleiding tijdens deze scriptie. Dankzij uw feedback en proefpresentaties heb ik dit eindwerk tot een goed einde kunnen brengen.
- Vervolgens zou ik graag Thibault Elleboudt willen bedanken, voor de tijd en moeite die hij in het monitoren van mijn trainingsschema heeft gestoken. Het COVID-19 virus heeft ervoor gezorgd dat we dit niet konden afwerken. Echter zijn de geleverde inspanningen niet nutteloos geweest en zullen we de opgedane kennis verder gebruiken in de voorbereiding naar volgend seizoen toe.
- Verder dank ik ook mijn ouders, Els Vandenborre en Frank Oerlemans, voor het nalezen van mijn scriptie en de steun tijdens deze bacheloropleiding.
- Tot slot zou ik alle docenten van deze en voorgaande opleidingen willen bedanken. Zonder de kennis, opgedaan tijdens hun lessen, had ik dit eindwerk niet kunnen realiseren.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Neil Oerlemans

Gent, 26 mei 2020.

Inhoudsopgave

Omslag - Schutblad - Titelpagina - Samenvatting - Voorwoord - Inhoudsopgave - Lijst met afkortingen - Figurenlijst - Tabellenlijst - Lijst van vergelijkingen

1. Meetdata	14
1.1. Inleiding: Prestaties in de topsport.....	14
1.2. Meetdata in volleybal.....	14
1.2.1. Welke meetdata?	14
1.3. Meetdata voor toeschouwers	17
1.4. Spronghoogte.....	18
2. Meetmethodes	19
2.1. Inleiding.....	19
2.2. Spronghoogtemeter.....	19
2.2.1. Principe	19
2.2.2. Fouten.....	19
2.3. Krachtplaat.....	19
2.3.1. Grondreactiekrachten.....	19
2.3.2. Derde wet van Newton	20
2.3.3. Werking van een krachtplaat	22
2.3.4. Load cells.....	22
2.3.5. Weerstand rekstrookjes.....	23
2.3.6. Berekenen van de spronghoogte.....	25
2.4. Krachtplatform vs. Spronghoogtemeter	31
2.4.1. Vergelijking	31
2.4.2. Voordelen & nadelen.....	31
2.5. IMU	32
2.5.1. Inleiding.....	32
2.5.2. IMU in de landmeetkunde	32
2.5.3. De VERT.....	36
3. De VERT	39
3.1. Componenten.....	39
3.1.1. Accelerometer	39
3.1.2. Gyroscoop.....	44
3.1.3. Magnetometer	48
3.2. Spronghoogte berekenen	51
3.2.1. Flight time	51
3.2.2. 3D-rotatie	52
3.2.3. Snelheid	56
3.2.4. Spronghoogte berekenen.....	56

4.	Kwaliteitsanalyse.....	57
4.1.	Inleiding.....	57
4.1.1.	Training 28 november 2019.....	57
4.1.2.	Training 25 februari 2020	57
4.1.3.	Kwaliteitsanalyse.....	58
4.2.	Mogelijke factoren	58
4.2.1.	Externe factoren.....	58
4.2.2.	Sensor.....	58
4.2.3.	Kinematica van de sprong.....	58
4.3.	Testopstelling	59
4.4.	Resultaten	59
4.4.1.	Bepalen spronghoogtes met KINOVEA.....	59
4.4.2.	Foutenbronnen meting van KINOVEA.....	61
4.5.	Conclusies	62
4.5.1.	Verband tussen de metingen onderling	62
4.5.2.	T-test.....	62
4.5.3.	Uitschieters meetwaarden VERT.....	64
4.5.4.	Metingen VERT ten opzichte van KINOVEA	65
4.5.5.	“Valse” sprongen.....	66
4.5.6.	Waargenomen verschillen en waarnemingen KINOVEA	68
4.6.	Algemeen besluit.....	69
5.	Toepassing.....	70
5.1.	Training monitoring.....	70
5.2.	TRIMP.....	70
5.2.1.	Training loads.....	70
5.2.2.	EPOC.....	70
5.3.	Zelf TRIMP bepalen	71
5.3.1.	Doel	72
5.3.2.	Weekschema	72
5.3.3.	Uitwerking	73
5.4.	Krachtschema	76
	Referenties.....	77
	Eindwerken	77
	Elektronische artikels	77
	Figuren	80
	Handboeken	82
	Tabellen.....	82

Vergelijkingen	83
Video's	85
Websites	85
Bijlagen	87
Gewone sprongen	87
“Valse” sprongen	89

Lijst met afkortingen

DMHV	Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen
DMI	Distance Measurement Instrument
EPOC	Excess Post Oxygen Consumption
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System
LIDAR	Light Detection and Ranging
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
ROM	Range of Motion
SONAR	Sound Navigation and Ranging
TRIMP	Training Impulse
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

Figurenlijst

Figuur 1 Spronghoogtemeter (van Baar, 2018).....	15
Figuur 2 Squat (Weightraining.guide, z.d.).....	15
Figuur 3 Overhead medicine ball throw (Youtube, 2010).....	16
Figuur 4 Bench press (Dutch4Health, z.d.).....	16
Figuur 5 3D-tracking technologie (Panasonic, 2019).....	17
Figuur 6 Spronghoogtemeter (van Baar, 2018).....	19
Figuur 7 Grondreactiekracht.....	20
Figuur 8 Gravitatieconstante G (Wikipedia, 2008).....	21
Figuur 9 Structuur krachtplaat (Ache Dias et al., 2011).....	22
Figuur 10 Rekstrookje (Wikipedia, 2012).....	23
Figuur 11 Drukkracht op rekstrookje.....	23
Figuur 12 Wheatstone bridge (Wikipedia, 2019).....	24
Figuur 13 Rekstrookjes en Wheatstone bridge (Youtube, 2018).....	25
Figuur 14 Countermovement jump (Grabski et al., 2019).....	26
Figuur 15 Force-time curve countermovement jump (Chavda et al., 2017).....	26
Figuur 16 Spronghoogte en Vmax.....	29
Figuur 17 Scheepsbewegingen (Altosole et al., 2009).....	33
Figuur 18 3D-puntenwolk (Mobile mapping, z.d.).....	34
Figuur 19 Sensoren (Kukko et al., 2009).....	34
Figuur 20 Airborne laserscanning (Roman et al., 2019).....	36
Figuur 21 Digitaal Hoogtemodel (DHMV) (Overheid Vlaanderen, z.d.).....	36
Figuur 22 VERT (Sportswearable, 2015).....	37
Figuur 23 Grafiek meetwaarden VERT (VERT, 2020).....	37
Figuur 24 Basisprincipe veer.....	39
Figuur 25 Basisprincipe veer met inwerkende kracht.....	39
Figuur 26 Principe van een condensator (Wikipedia, 2003).....	41
Figuur 27 Schema werking condensator (Wikipedia, 2011).....	41
Figuur 28 Basisprincipe veer.....	42
Figuur 29 Basisprincipe veer met condensator.....	43
Figuur 30 Accelerometer in rust.....	43
Figuur 31 Accelerometer in beweging.....	44
Figuur 32 Coriolis kracht (ww2010, z.d.).....	44
Figuur 33 Richting en zin Corioliskracht.....	45
Figuur 34 Rechterhandregel (GitHub, 2020).....	45
Figuur 35 Gyroscop 2 massa-systeem.....	46
Figuur 36 Corioliskracht bij gyroscop.....	46
Figuur 37 Condensator in gyroscop.....	47
Figuur 38 Magnetisch veld (HLN, 2019).....	48
Figuur 39 Stroomgeleidende voorwerp in magnetisch veld.....	48
Figuur 40 Voortplanting elektronen.....	49
Figuur 41 Metalen plaat in magnetisch veld.....	49
Figuur 42 Verdeling van elektronen.....	49
Figuur 43 Elektrische lading in magnetisch veld.....	50
Figuur 44 Baan elektron.....	50
Figuur 45 Force-time curve countermovement jump (Chavda et al., 2017).....	51
Figuur 46 Assenstel VERT (Picerno et al., 2011).....	52
Figuur 47 2D-rotatie (Geogebra, 2020).....	53
Figuur 48 Rotatie-as (Youtube, 2018).....	54
Figuur 49 Eenheidsvector (Youtube, 2018).....	54

Figuur 50 3D-rotatie (Youtube, 2018)	55
Figuur 51 Spronghoogtes training 28 november (VERT, 2020)	57
Figuur 52 Spronghoogtes training 25 februari (VERT, 2020)	58
Figuur 53 Marker	60
Figuur 54 Traject	60
Figuur 55 Assenstelsel en referentielijn	61
Figuur 56 Autocorrelatie KINOVEA.....	62
Figuur 57 Boxplot uitschieters VERT	65
Figuur 58 Meting VERT ten opzichte van KINOVEA.....	66
Figuur 59 Landing 1 been.....	67
Figuur 60 Landing ingetrokken benen	67
Figuur 61 Gewone sprongen ten opzichte van "valse" sprongen	67
Figuur 62 Verschil ten opzichte van meting KINOVEA.....	69
Figuur 63 EPOC curve (CoachmeFit, z.d.).....	71
Figuur 64 Trainingsinterval (Firstbeat, 2020)	71
Figuur 65 Bench press (Coachmag, 2019)	73
Figuur 66 Spronghoogtes training 26 februari (VERT, 2020)	75

Tabellenlijst

Tabel 1 Samenvatting basistesten.....	17
Tabel 2 Spronghoogtemeter vs. krachtplaat	31
Tabel 3 T-tabel (Radford et al., 2007).....	63
Tabel 4 T-test	63
Tabel 5 Uitschieters.....	64
Tabel 6 Sprong 2.....	64
Tabel 7 Meetwaarden VERT en KINOVEA.....	66
Tabel 9 Weekschema.....	72
Tabel 10 Range of motion	73
Tabel 11 Gewicht lichaamssegmenten (Plagenhoef et al.,1983)	74
Tabel 12 Load voor bench press	75
Tabel 13 Voorbeeld load baltraining	76
Tabel 14 Voorbeeld totale load één week baltraining	76

Lijst van vergelijkingen

Vergelijking 1 Epley formule (Wikipedia, 2020).....	15
Vergelijking 2 Derde wet van Newton (Giancoli, 2014).....	20
Vergelijking 3 Gravitatiewet van Newton (Giancoli, 2014).....	21
Vergelijking 4 Traagheidswet (Giancoli, 2014).....	21
Vergelijking 5 Elektrische weerstand voorwerp (Giancoli, 2014).....	23
Vergelijking 6 Weerstand in Wheatstone bridge (Acke, 2013).....	24
Vergelijking 7 Wet van Ohm (Acke, 2013).....	24
Vergelijking 8 Outputspanning Wheatstone bridge (Acke, 2013).....	25
Vergelijking 9 Formule Timepoint (Chavda et al., 2017).....	28
Vergelijking 10 Versnelling (Chavda et al., 2017).....	28
Vergelijking 11 Nettokracht (Chavda et al., 2017).....	28
Vergelijking 12 Power (Chavda et al., 2017).....	28
Vergelijking 13 Snelheid (Chavda et al., 2017).....	29
Vergelijking 14 Verplaatsing (Chavda et al., 2017).....	29
Vergelijking 15 Snelheid (Giancoli, 2014).....	30
Vergelijking 16 Traagheidswet (Giancoli, 2014).....	40
Vergelijking 17 Veerkracht (Giancoli, 2014).....	40
Vergelijking 18 Capaciteit vlakke condensator (Giancoli, 2014).....	42
Vergelijking 19 Corioliskracht (Giancoli, 2014).....	45
Vergelijking 20 Lorentzkracht (Giancoli, 2014).....	50
Vergelijking 21 Quaternionenproduct (Rantalainen et al., 2019).....	55
Vergelijking 22 Spronghoogte (Rantalainen et al., 2019).....	56
Vergelijking 23 Vrijheidsgraden (Shier, 2004).....	63
Vergelijking 24 Onder- en bovengrens IKA-methode (Campens, 2017).....	64
Vergelijking 25 Definitie load (Foster et al., 2017).....	70
Vergelijking 26 gemiddelde snelheid (Giancoli, 2014).....	73
Vergelijking 27 Gemiddelde versnelling (Giancoli, 2014).....	74
Vergelijking 28 Grondreactiekracht bij take-off (Jimenez-Reyes et al., 2017).....	76

1. Meetdata

1.1. Inleiding: Prestaties in de topsport

776 v.C. Dit jaartal wordt beschouwd als het jaar waarin de allereerste Olympische Spelen plaats vonden in Olympia, Griekenland. Deze werden om de 4 jaar gehouden ter ere van Zeus. Het doel was om jonge Griekse mannen toe te laten hun fysieke kwaliteiten tentoon te spreiden en de relaties tussen de verschillende Griekse steden te bevorderen.

Oorspronkelijk bestonden de Olympische Spelen slechts uit één discipline; een loopwedstrijd van 190 m. Nadien werden er verschillende disciplines aan toegevoegd zoals: worstelen, paardenrennen en de pentatlon. In 350 v.C. bood een eerste stadion plaats voor 40 000 toeschouwers. (Wikipedia, 2020)

De Olympische Spelen zijn het levende bewijs dat sporten al even lang bestaat als de mens zelf. In deze periode van meer dan 2000 jaar heeft sport al een hele evolutie doorgemaakt. Sporten is niet alleen gezond, het biedt ook afleiding, vertier en competitie. Over de jaren heen zochten atleten meer en meer naar nieuwe mogelijkheden om hun prestaties te verbeteren. Zo werd vooruitgang geboekt in het verbeteren van de techniek door middel van analyse van de bewegingen van de atleten. Ook krachttraining heeft een enorme evolutie doorgemaakt, in die mate dat hier enkel nog gespecialiseerde trainers voor worden ingeschakeld. Atleten doen een beroep op dokters en kinesisten om het lichaam zo lang mogelijk zo fit mogelijk te houden. En dan laten we de *business-side* van de sport nog buiten beschouwing. Met andere woorden is de sport een markt op zich geworden, namelijk de topsport.

Sinds het begin van de 21^{ste} eeuw is de vraag van trainers, alsook van wetenschappers, om data van atletische prestaties op een objectieve manier weer te geven, toegenomen. Men wil dus eigenlijk de prestaties van atleten kunnen weergeven in “cijfers” om zo een objectieve beoordeling ervan te bekomen. Zo was bijvoorbeeld wat betreft de belasting van een sport op het menselijke lichaam voorheen vaak de - grotendeels subjectieve - beoordeling van de atleet de norm. Welke data en op welke manier deze data gemeten moet worden zorgt voor een hele nieuwe markt die nog volop in ontwikkeling is. (van Baar, 2018)

1.2. Meetdata in volleybal

Ikzelf ben al op vrij jonge leeftijd gestart met volleybal. Hierbij heb ik de meeste niveaus in België doorlopen (van de jeugdreeksen tot ereklasse). Ik heb dus een mooi zicht op de testen die van jongs af worden afgenomen en alleen maar verder evolueren naarmate het niveau stijgt. Om talent te detecteren worden door trainers vaak eenvoudige testjes gebruikt. Zo worden gewicht, lengte en spronghoogte meermaals tijdens het seizoen gemeten. Ook een lengtepredictie komt vaak voor; bij mij bijvoorbeeld werden er 4 afgenomen. Naarmate mijn volleybalcarrière vorderde werd ik onderworpen aan meer testen. Bij Marke (volleybal club in liga B, 2^{de} klasse) bijvoorbeeld, werd een ECG genomen. Ook werden vaak eenvoudige testen gebruikt om de fysieke prestatie van mijn lichaam te monitoren. Welke dit precies zijn bespreek ik later. Volgend seizoen start ik in ereklasse. Ik ga er dus van uit dat *testing* en meetdata nog belangrijker zullen worden.

1.2.1. Welke meetdata?

Naarmate het niveau van competitie stijgt, stijgt ook de nood aan meetdata. Toch wordt er vastgesteld dat reeds vanaf een relatief laag niveau trainers zich bezig houden met het verzamelen van data die de fysieke prestaties van een volleybalspeler weergeven. Voor volleybal wordt elke spiergroep aangesproken. Daarom probeert men data te verzamelen van zowel boven- als onderlichaam. Vaak wordt er vertrokken vanuit 4 basistesten. Deze kunnen dan uitgebreid worden met andere testen. (Marques et al., 2009)

1.2.1.1. Basistesting

1.2.1.1.1. Spronghoogte

Volleybal is een sport waarbij gestalte en sprongkracht een groot voordeel kunnen opleveren. Een groot persoon die bovendien ook hoog kan springen kan makkelijker en krachtiger een bal naar beneden slaan dan een klein persoon met weinig sprongkracht. De gestalte van een persoon is niet beïnvloedbaar. Aan de spronghoogte daarentegen kan wel gewerkt worden. De sprongkracht van een atleet is een goede parameter voor de explosiviteit van het onderlichaam. (Marques et al., 2009)

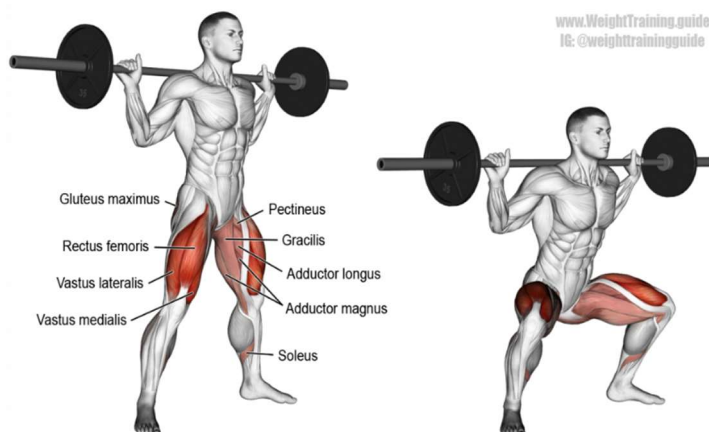
De meest eenvoudige manier om de sprongkracht te meten is via een spronghoogtemeter. Dit is een borstel bestaande uit verschillende latjes van 1 cm dikte. Eerst wordt de reikhoogte van een speler gemeten via bv. een rolmeter. Daarna springt deze speler zo hoog mogelijk om zoveel mogelijk latjes weg te tikken. Op basis van het aantal weggetikte latjes en de reikhoogte kan men berekenen hoe hoog een speler springt. Deze test wordt meermaals herhaald tijdens een seizoen om zo de vooruitgang in sprongkracht bij te houden. (Marques et al., 2009)



Figuur 1
Spronghoogtemeter (van Baar, 2018)

1.2.1.1.2. Squat

De *squat* is een veelgebruikte oefening voor het bepalen van de kracht in het onderlichaam van een atleet. De bedoeling van deze test is om de 1RM van deze oefening te bepalen. 1RM staat voor 1 repetitie maximaal en is het gewicht dat een bepaald persoon maximum één keer kan tillen. (Marques et al., 2009)



Figuur 2 Squat (Weightraining.guide, z.d.)

Het is onmogelijk om direct het exacte gewicht te bepalen dat men eenmaal kan tillen. Vandaar dat men een gewicht gaat gebruiken waarvan men vermoedt dat het dicht bij zijn of haar 1RM ligt. Met dit gewicht probeert men zoveel mogelijk herhalingen uit te voeren. Aan de hand van onderstaande Epley Formule zal men dan de 1RM benaderen (Wikipedia, 2020):

Vergelijking 1 Epley formule (Wikipedia, 2020)

$$1 RM = \left(w * \frac{r}{30} \right) + w \quad \text{met } w = \text{gewicht (kg)}$$

$r = \text{aantal herhalingen}$

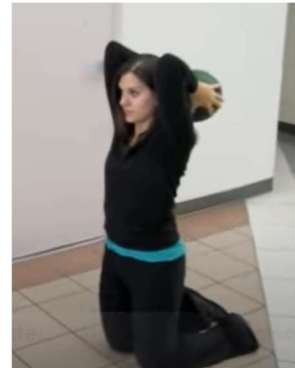
Er zijn nog andere formules om de 1RM te benaderen zoals:

- Brzycki formule
- McGlothlin formule
- Lombardi formule
- ...

(Wikipedia, 2020)

1.2.1.1.3. Overhead medicine ball throw

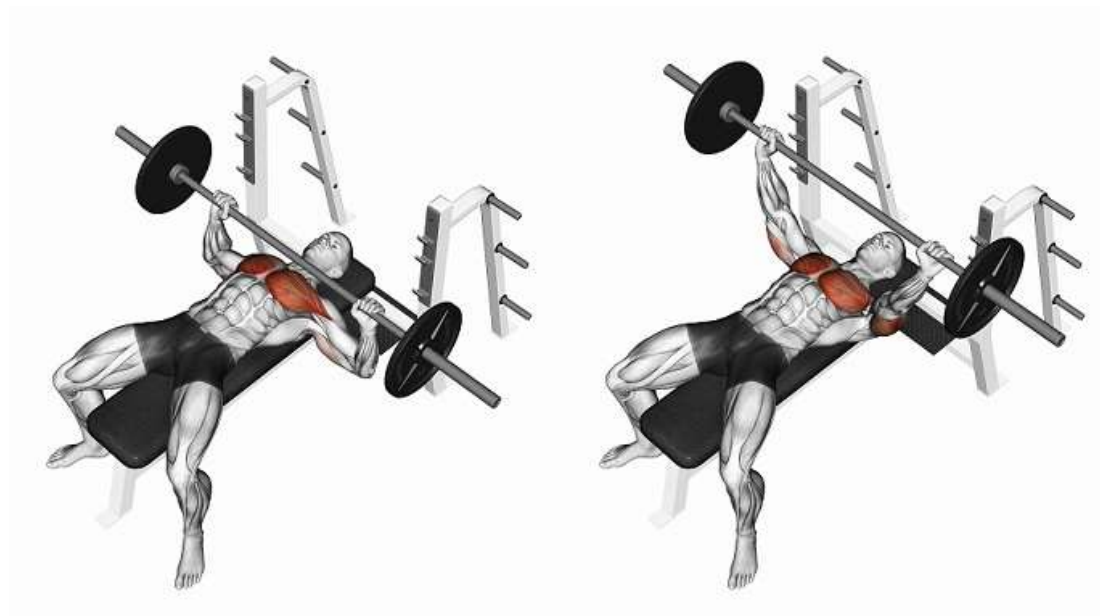
De *overhead medicine ball throw* is een test die gebruikt wordt als maat voor de explosiviteit van het bovenlichaam. Een *medicine ball* is een verzwaarde bal. De speler gaat op de knieën zitten en houdt de bal achter het hoofd. Daarna probeert hij de bal zo ver mogelijk van zich weg te gooien. Men meet de afstand die men geworpen heeft. De test gebeurt vanuit deze specifieke houding omdat zo het onderlichaam uitgeschakeld wordt en de explosiviteit van bovenlichaam en buikspieren moet komen. (Marques et al., 2009)



Figuur 3 Overhead medicine ball throw (Youtube, 2010)

1.2.1.1.4. Bench press

Met de *bench press* wordt de kracht in het bovenlichaam gemeten. Dit is een oefening die vaak gebruikt wordt in de fysieke krachttraining. Men voert deze test uit op een speciaal bankje omdat hieraan haltersteunen zijn verbonden. Op deze steunen ligt de halter met daaraan een gewicht dat zo dicht mogelijk het gewicht van je 1RM benadert. Net zoals bij de squat probeert men nu zoveel mogelijk herhalingen te maken met het gekozen gewicht. Aan de hand van het gewicht en het aantal herhalingen kan men de 1RM benaderen via de Epley formule. (Marques et al., 2009)



Figuur 4 Bench press (Dutch4Health, z.d.)

1.2.1.2. Samenvatting basistesten

Tabel 1 Samenvatting basistesten

Oefening	Lichaamsdeel	Type	Waarde
Spronghoogte	onderlichaam	explosiviteit	cm
Squat	onderlichaam	kracht	kg
Overhead medicine ball throw	bovenlichaam	explosiviteit	m
Bench press	bovenlichaam	kracht	kg

1.3. Meetdata voor toeschouwers

Meetdata wordt niet enkel meer gebruikt om de prestaties van de atleten te verbeteren. Sinds kort worden deze live weergegeven tijdens de uitzending van een wedstrijd. Panasonic corporation maakt gebruik van *3D-tracking* om informatie van een wedstrijd live te verstrekken. Zo werd deze technologie voor de eerste keer gebruikt op het wereldkampioenschap volleybal voor mannen in Japan tijdens de zomer van 2019. (Panasonic, 2019)



Figuur 5 3D-tracking technologie (Panasonic, 2019)

3D-tracking technologie maakt het mogelijk de *spike height*, de *receiving angle*, de *spike speed* en de *toss time* weer te geven. De balbaan wordt bepaald aan de hand van *realtime 3D location data* die men bekomt aan de hand van verschillende camera's. Deze info wordt tijdens herhalingen van acties meegegeven aan het publiek. Op deze manier krijgen de toeschouwers een meer wetenschappelijke kijk op de prestaties van de atleten. (Panasonic, 2019)

1.4. Spronghoogte

Er kan dus oneindig veel data gemeten worden die relevant is voor coaches, spelers en toeschouwers. Volleybal is een explosieve sport waarbij spelers korte en krachtige acties maken. Eén van die acties is de sprong. In topvolleybal wordt springen gezien als een zeer belastende actie. Hierdoor is de vraag gestegen van coaches en wetenschappers naar data over de belasting veroorzaakt door de sprong. Wanneer men de spronghoogtes, en vooral het verval van de hoogtes, kan meten van topvolleybalspelers kan men dit gebruiken als indicatie van de fitheid van een speler. Naargelang de fitheid worden fitness- en trainingsschema's op maat afgesteld. Hierdoor kan elke speler optimaal trainen met een zo klein mogelijke kans op blessure. (van Baar, 2018)

De sprong is dus één van de belangrijkste parameters om te meten. Vandaar dat in deze scriptie wordt gefocust op het meten van de spronghoogte. In het volgende deel worden de mogelijke meetmethodes voor het meten van spronghoogtes besproken. Zo ziet men in recente ontwikkelingen dat systemen, die hun toepassing vooral kennen in de landmeetkunde, verschuiven naar een heel andere domein, namelijk de topsport.

2. Meetmethodes

2.1. Inleiding

Er zijn verschillende manieren om de spronghoogte van een volleybalspeler te meten. De meest toepasselijke en courante worden besproken in dit deel.

2.2. Spronghoogtemeter

2.2.1. Principe

Zoals eerder gezien is een spronghoogtemeter een apparaat waarbij spronghoogtes snel en eenvoudig kunnen gemeten worden. Deze bestaat uit een ijzeren stang met een “borstel” aan. Deze “borstel” bestaat uit verschillende latjes van 1cm dikte. Om de 10 latjes, of 10 cm, veranderen deze van kleur. Deze latjes kunnen ronddraaien in het horizontale vlak, waardoor deze weggetikt kunnen worden door de speler.

De metalen stang kan men instellen op verschillende hoogtes, zodat een groot bereik aan spronghoogtes gemeten kan worden. De ingestelde hoogte komt overeen met de onderkant van het onderste latje. Stel dat de spronghoogtemeter ingesteld staat op 3m en men tikt het eerste latje weg dan krijgt men dus een hoogte van 3,01 m.

Van de hoogte moet natuurlijk de reikhoogte van de speler afgetrokken worden. Pas dan krijgt men de effectieve spronghoogte.

$$h_{sprong} = h_m - h_{reik} \quad \text{met } h_{sprong} = \text{spronghoogte [m]}$$

$$h_m = \text{hoogte meting [m]}$$

$$h_{reik} = \text{reikhoogte [m]}$$



Figuur 6 Spronghoogtemeter (van Baar, 2018)

2.2.2. Fouten

De spronghoogtemeter is dus een ideale manier om snel en eenvoudig een inschatting te krijgen van de spronghoogte. Een inschatting is hier het juiste woord want de spronghoogtemeter heeft maar een beperkte nauwkeurigheid (1 cm) en is onderhevig aan veel fouten:

- Meetfout op de reikhoogte
- Fout op de ingestelde hoogte van de meter
- Fout door de meetlatjes die niet perfect horizontaal hangen
- Fout door de houding, die niet identiek is tijdens de sprong en het meten van de reikhoogte

2.3. Krachtplaat

2.3.1. Grondreactiekrachten

Een andere manier om de spronghoogte te meten is een krachtplaat. Deze meet grondreactiekrachten op een zeer nauwkeurige manier. Uit deze krachten kunnen heel wat parameters afgeleid worden zoals:

- Snelheden
- Versnellingen
- Power
- Verplaatsingen
- ...

De meeste krachtplaten meten verticale krachten. Sommige krachtplaten kunnen ook laterale of schuine krachten meten. Voor het meten van de spronghoogte volstaan de verticale grondreactiekrachten. De betekenis van de grondreactiekracht vinden we terug in de derde wet van Newton. (HawkinsDynamics, z.d.)

2.3.2. Derde wet van Newton

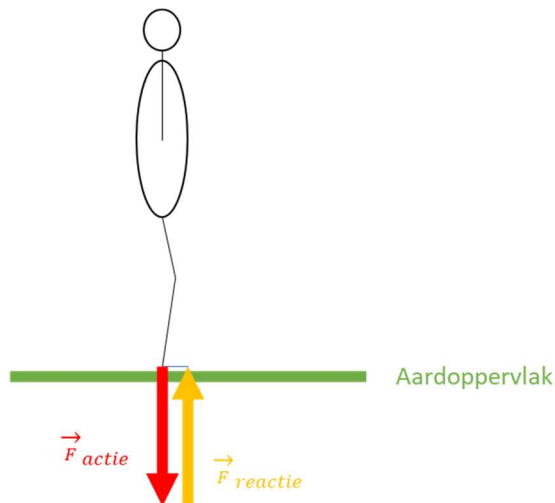
De derde wet van Newton stelt dat als een voorwerp een kracht \vec{F}_{actie} uitoefent op een ander voorwerp, dit voorwerp een even grote, maar tegengestelde kracht $\vec{F}_{reactie}$ uitoefent op het eerste voorwerp; de reactiekracht.

Vergelijking 2 Derde wet van Newton (Giancoli, 2014)

$$\vec{F}_{actie} = - \vec{F}_{reactie}$$

Dit betekent dus dat krachten in paren voorkomen. Deze 2 krachten zijn even groot en tegengesteld in zin. Maar doordat ze elk inwerken op een ander voorwerp, heffen deze krachten elkaar niet op. (Giancoli, 2014)

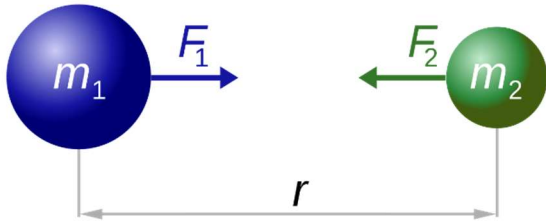
Deze wet wordt dus toegepast om de betekenis van grondreactiekracht te bepalen. Een atleet bevindt zich in rust vlak voor hij een sprong gaat maken. In rust heeft deze atleet een massa m . Deze massa oefent een kracht uit op de Aarde. Volgens de derde wet van Newton, treedt er nu een reactiekracht op vanuit de Aarde op de atleet. Deze kracht is even groot als de kracht van de atleet op de Aarde, maar tegengesteld van zin. Deze reactiekracht wordt de grondreactiekracht genoemd. (Giancoli, 2014)



Figuur 7 Grondreactiekracht

2.3.2.1. Gravitatiewet van Newton

De gravitatiewet van Newton beschrijft de aantrekkingskracht die 2 puntmassa's uitoefenen op elkaar ten gevolge van zwaartekracht. Deze wet stelt dat een puntmassa een kracht zal uitoefenen op een andere puntmassa. De kracht heeft dezelfde richting als de lijn die deze puntmassa's verbindt. De kracht is recht evenredig met het product van de massa's en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen de 2 puntmassa's. (Giancoli, 2014)



Figuur 8 Gravitatieconstante G (Wikipedia, 2008)

Deze zwaartekracht, of gravitatiekracht, kan berekend worden met volgende formule:

Vergelijking 3 Gravitatiewet van Newton (Giancoli, 2014)

$$F_g = G * \frac{M * m}{r} \quad \text{met } F_g = \text{de zwaartekracht tussen 2 puntmassa's [N]}$$

$m = \text{massa van puntmassa 1 [kg]}$

$M = \text{massa van puntmassa 2 [kg]}$

$r = \text{de afstand tussen 2 puntmassa's [m]}$

$G = \text{de gravitatieconstante} = 6,67428 \pm 0,00067 * 10^{-11} \left[\frac{Nm^2}{kg} \right]$

Als men de aantrekkingskracht van de Aarde op een massa, die zich op het aardoppervlak bevindt, wilt bepalen, wordt voor M de massa van de Aarde gekozen en voor r de straal van de Aarde. Men kan dus stellen dat:

$$F_z = m * g \quad \text{met } F_z = \text{de zwaartekracht [N]}$$

$m = \text{de massa van het voorwerp [kg]}$

$g = \text{de valversnelling van een puntmassa op Aarde} \left[\frac{m}{s^2} \right]$

Hierbij is:

$$g = G * \frac{M}{r} \quad \text{met } G = \text{de gravitatieconstante} \left[\frac{Nm^2}{kg} \right]$$

$M = \text{de massa van de Aarde [kg]}$

$r = \text{de straal van de Aarde [m]}$

$$g \approx 9.81 \frac{m}{s^2}$$

(Giancoli, 2014)

2.3.2.2. Grootte van de grondreactiekracht

Uit de eerste wet van Newton, of de traagheidswet, weet men dat:

Vergelijking 4 Traagheidswet (Giancoli, 2014)

$$F = m * a \quad F = \text{kracht [N]}$$

$m = \text{massa [kg]}$

$a = \text{versnelling} \left[\frac{m}{s^2} \right]$

Hieruit wordt de kracht van de atleet met massa m op het aardoppervlak berekend:

$$F_m = m * g \quad F = \text{kracht door massa atleet [N]}$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$g = \text{valversnelling } \left[\frac{m}{s^2} \right] \approx 9.81$$

Volgens vergelijking 2:

$$\overrightarrow{F_{actie}} = - \overrightarrow{F_{reactie}}$$

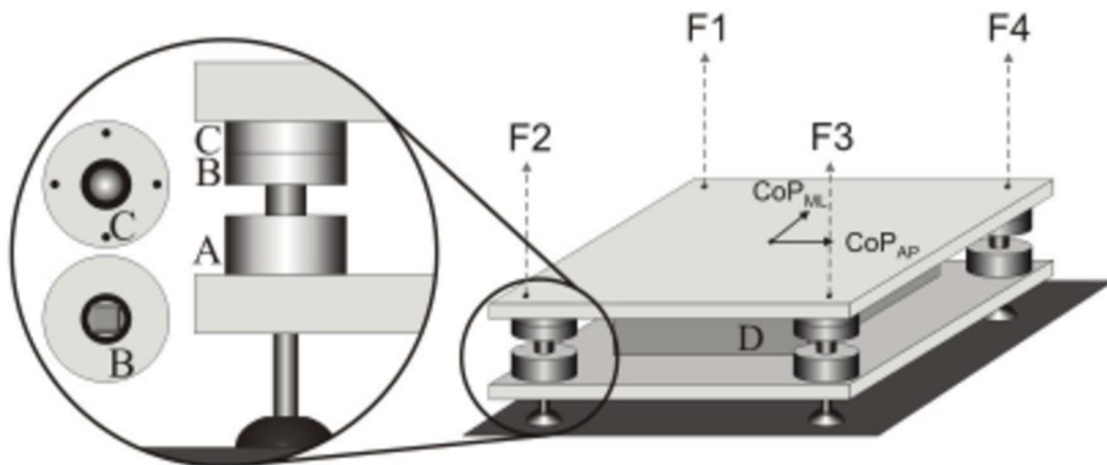
Kan men stellen dat:

$$F_{grond} = -F_m$$

De grondreactiekracht is dus even groot maar tegengesteld in zin als de kracht die de massa van de atleet uitoefent op het aardoppervlak onder invloed van de valversnelling. (Giancoli, 2014)

2.3.3. Werking van een krachtplaat

Een krachtplaat maakt gebruik van *load cells* of drukdozen voor het bepalen van de grondreactiekrachten. Een *load cell* is een elektrische sensor die krachten kan omzetten in een elektrisch signaal. Dit signaal kan men meten en gebruiken om de grondreactiekrachten, die ontstaan door de massa van een atleet te bepalen. Er bestaan verschillende soorten krachtplaten maar in de meeste modellen wordt er een *load cell* aangebracht op elk hoekpunt van de plaat (A, figuur 9). (Ache Dias et al., 2011)



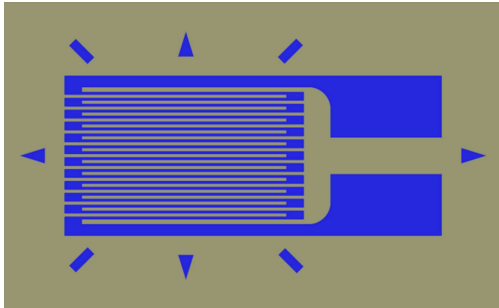
Figuur 9 Structuur krachtplaat (Ache Dias et al., 2011)

2.3.4. Load cells

Een *load cell* is dus een *forcetransducer* die kracht omzet in een elektrisch signaal. In dit geval een spanning. Er bestaan verschillende soorten *load cells*:

- Pneumatische drukdozen
- Hydraulische drukdozen
- Capacitieve drukdozen
- Drukdozen met rekstrookjes of *strain gauge load cells*

De meeste krachtplaten die gebruikt worden voor het meten van sportprestaties zijn *strain gauge load cells*. Dit zijn *load cells* die gebruik maken van rekstrookjes om een spanningsverandering te veroorzaken. Een rekstrookje is een elektrische component die vormverandering van materialen kan meten. Het is gemaakt van een metalen folie op een isolerende, flexibele steun. (hbm, z.d.)



Figuur 10 Rekstrookje (Wikipedia, 2012)

2.3.5. Weerstand rekstrookjes

Elk materiaal heeft de eigenschap om de doorgang van elektrische stroom te belemmeren. Dit wordt elektrische weerstand genoemd. De weerstand van een materiaal is afhankelijk van de oppervlakte van de dwarsdoorsnede en de lengte van het materiaal. De weerstand kan bepaald worden met volgende formule:

Vergelijking 5 Elektrische weerstand voorwerp (Giancoli, 2014)

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad \text{met } R = \text{weerstand } [\Omega]$$

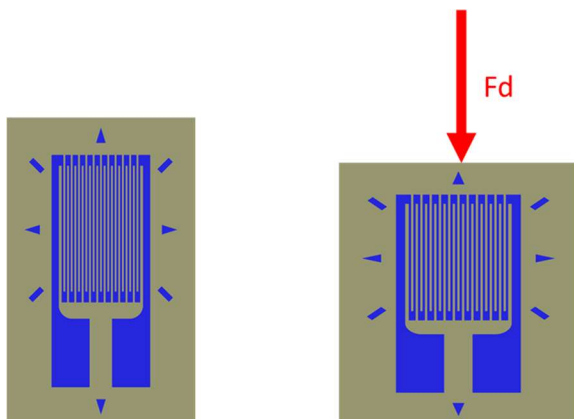
$$l = \text{lengte } [m]$$

$$A = \text{oppervlakte } [m^2]$$

$$\rho = \text{soortelijke weerstand } [\Omega m]$$

De soortelijke weerstand ρ , ook wel de resistiviteit genoemd, is een evenredigheidsconstante en is dus afhankelijk van het soort materiaal. Voor de meeste materialen is de constante bepaald. Deze kan men terugvinden in verschillende tabellenboeken. In deze tabellen zijn de materialen vaak onderverdeeld in geleiders, halfgeleiders en isolatoren. (Giancoli, 2014)

Wanneer een kracht inwerkt op de *load cells*, zullen de rekstrookjes van vorm veranderen. Als deze kracht een drukkracht is zullen de strookjes een grotere dwarsdoorsnede A krijgen en de lengte l zal verminderen.



Figuur 11 Drukkracht op rekstrookje

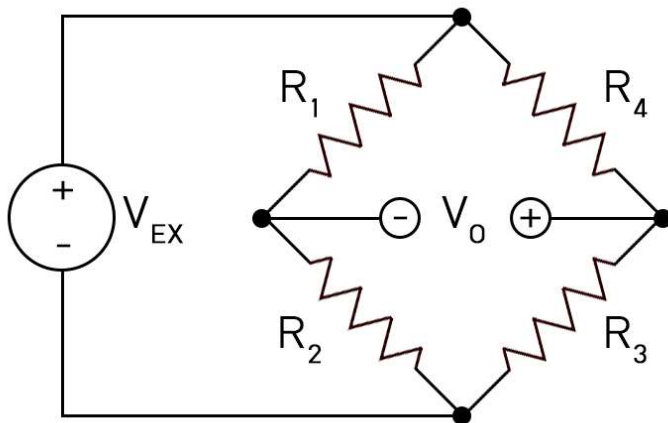
Volgens vergelijking 5:

$$R = \rho (cte) * \frac{l(\downarrow)}{A(\uparrow)}$$

Dan ziet men dat de weerstand van de rekstrookjes gaat dalen. Indien de rekstrookjes onderhevig zijn aan een trekkracht, zal de weerstand stijgen. Aan de hand van deze verandering van weerstand zal een spanningsverschil gemeten worden. (Acke, 2013)

2.3.5.1. Wheatstone bridge

Een *load cell* bestaat uit 4 rekstrookjes geplaatst in een Wheatstone *bridge*. Dit is een elektrische schakeling met 4 weerstanden (de rekstrookjes). Deze worden geschakeld op volgende manier:



Figuur 12 Wheatstone bridge (Wikipedia, 2019)

Deze schakeling staat onder een constante, bekende spanning V_{ex} . In de schakeling wordt de outputspanning V_0 gemeten. Deze outputspanning is afhankelijk van de weerstand van de rekstrookjes. Wanneer er geen krachten inwerken op het krachtplatform, en dus ook de rekstrookjes, geldt dat (Acke, 2013):

Vergelijking 6 Weerstand in Wheatstone bridge (Acke, 2013)

$$\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$$

Dit wil zeggen:

$$V_0 = 0 V$$

Volgens de wet van Ohm is de stroom recht evenredig is met het potentiaalverschil V :

Vergelijking 7 Wet van Ohm (Acke, 2013)

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{met } I = \text{stroom [A]}$$

$$V = \text{spanning [V]}$$

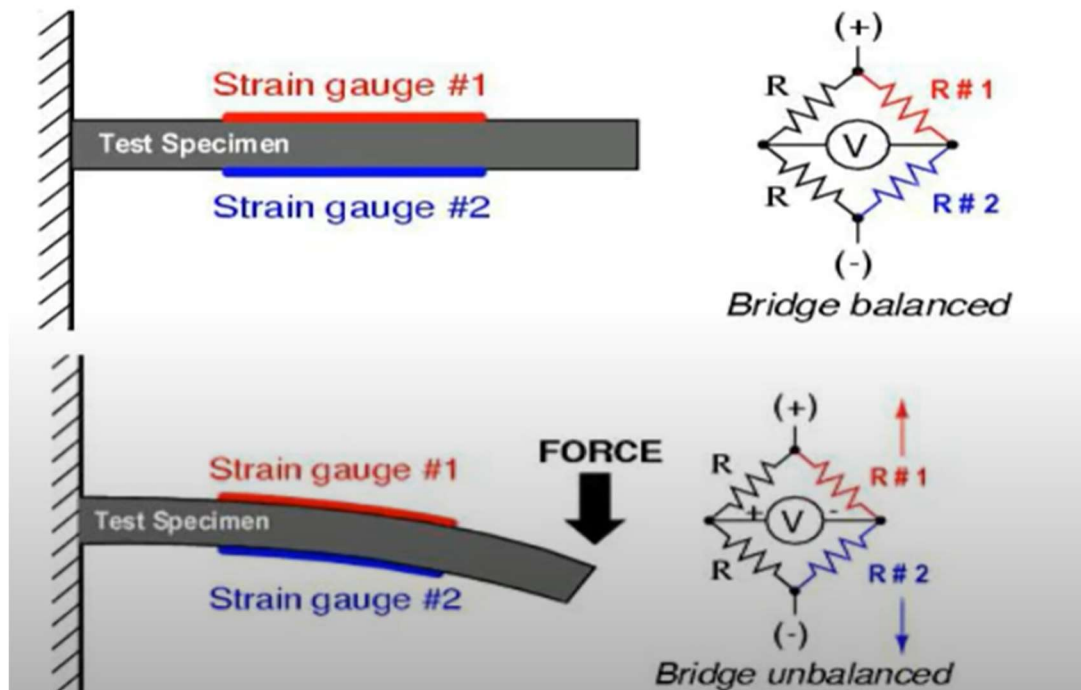
$$R = \text{weerstand } [\Omega]$$

Hieruit wordt afgeleid dat als één van de 4 weerstanden verandert in grootte, de spanning mee zal veranderen. De exacte waarde van de outputspanning kunnen we bepalen met volgende formule (Acke, 2013):

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) * V_{ex}$$

2.3.5.2. Meten van krachten

Wanneer een kracht inwerkt op de plaat, zullen de rekstrookjes van vorm veranderen. Sommige rekstrookjes worden langer en smaller, waardoor de weerstand in deze rekstrookjes zal stijgen. Andere rekstrookjes zullen korter en dikker worden. De weerstand van deze rekstrookjes zal dus dalen.



Figuur 13 Rekstrookjes en Wheatstone bridge (Youtube, 2018)

De totale weerstand van de *Wheatstone bridge* zal stijgen of dalen. De verandering resulteert in een andere outputspanning. Deze kan gemeten worden en is in verhouding met de inwerkende krachten. (Acke, 2013)

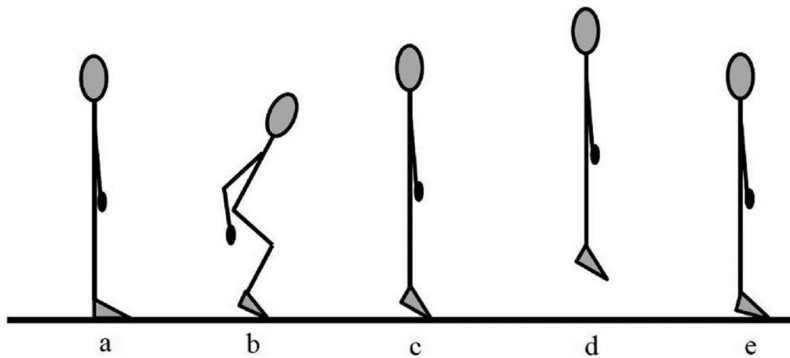
2.3.6. Berekenen van de spronghoogte

2.3.6.1. De sprong

Vooraleer de spronghoogte berekend kan worden uit de grondreactiekrachten, moet eerst de mechanica achter de sprong diepgaander geanalyseerd worden. Wanneer men dit begrijpt, zal het gemakkelijker zijn de spronghoogte uit de grondreactiekrachten te berekenen.

2.3.6.2. De countermovement jump

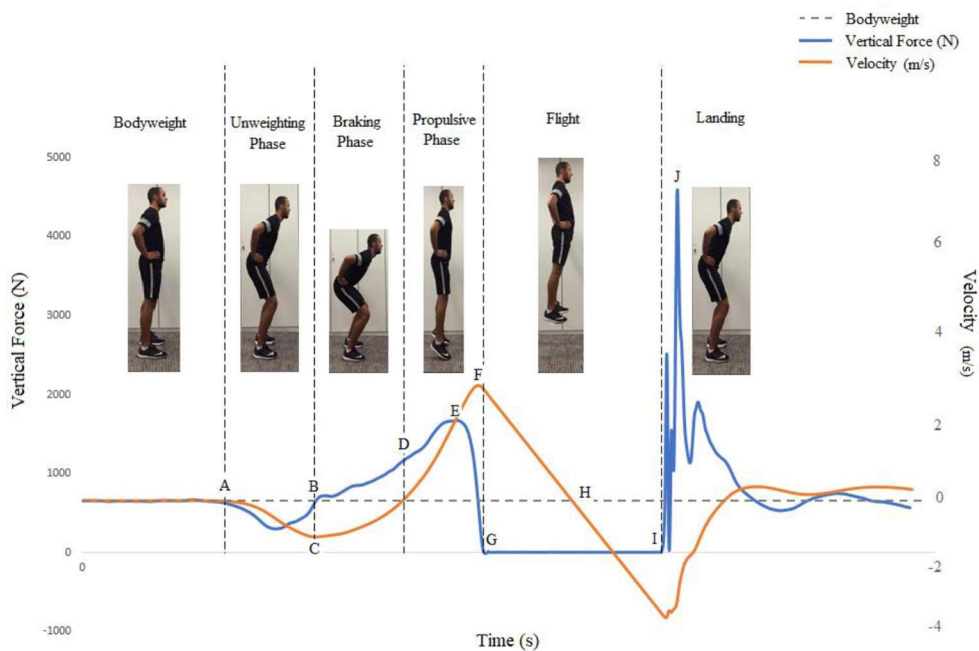
De sprong die gebruikt wordt voor het bepalen van de spronghoogte heet de *countermovement jump*. De atleet begint in rusthouding (a). Dit wil zeggen rechtopstaand met de voeten op schouderbreedte. Vervolgens buigt men door de knieën (b). Vanuit de laagst mogelijke positie strekt de atleet zijn benen (c) en springt hij zo hoog mogelijk (d) waarna hij terug landt op de grond (e). Tijdens deze sprong worden de handen in de zij gehouden. (Chavda et al., 2017)



Figuur 14 Countermovement jump (Grabski et al., 2019)

2.3.6.3. De Force-Time curve

Wanneer deze sprong uitgevoerd wordt ziet men dat de output bestaat uit een hele reeks aan grondreactiekrachten. Als deze krachten worden uitgezet in functie van de tijd krijgt men de Force-Time curve. Uit deze curve kunnen heel wat parameters afgeleid worden zoals bv. snelheid. Ook de snelheid wordt uitgezet in functie van tijd omdat men door deze curve de sprong makkelijker kan voorstellen. Op de y-as vindt men de verticale krachten (Newton) en de snelheid (m/s) terug. Op de x-as de tijd in seconden. (Chavda et al., 2017)



Figuur 15 Force-time curve countermovement jump (Chavda et al., 2017)

Aan de hand van de curve wordt de *countermovement jump* opgedeeld in 6 fases:

1. De rustfase of *bodyweight fase*
2. De neerwaartse fase of *unweighted fase*
3. De remfase of *braking fase*
4. De versnellingsfase of *propulsive fase*
5. De zweeffase of *flight*
6. De landing

(Chavda et al., 2017)

2.3.6.3.1. De bodyweight fase

In deze fase neemt de atleet de rusthouding aan. Uit *vergelijking 3* weet men dat de grondreactiekracht gelijk is aan:

$$F_m = m * g \quad g = \text{valversnelling} \left[\frac{m}{s^2} \right] \approx 9.81$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$F = \text{kracht [N]}$$

Dit wordt ook wel het lichaamsgewicht genoemd. Deze houding wordt enkele seconden aangenomen en is gekenmerkt door een horizontale lijn. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.3.2. De unweighted fase

Deze fase loopt van punt A naar punt B in de curve (*figuur 15*). In punt A begint de sprong. De atleet buigt eerst de knieën en heupen waardoor de curve onder de horizontale lijn van het lichaamsgewicht zakt. Het zwaartepunt van de atleet zal dus beginnen zakken, waardoor een negatieve versnelling ontstaat. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.3.3. De braking fase

Om deze negatieve versnelling te overwinnen worden de beenspieren geactiveerd. Dit zorgt ervoor dat de impuls (oppervlakte onder de krachtcurve) boven de lichaamsgewichtlijn komt. Het punt waar de curve het lichaamsgewicht kruist (B) tot aan de laagste positie (D) noemt men de *braking fase*. Punt B wordt ook gedefinieerd als het punt met de laagste snelheid voor *take off*. In punt C is de snelheid terug 0, vandaar ook de laagste positie van de atleet. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.3.4. De propulsive fase

Na de *braking fase* komt de *propulsive fase*. Deze loopt van punt D tot G. Deze fase wordt gekenmerkt door een explosie aan kracht en dus versnelling. In punt E ligt de piekkracht. Tussen punt E en G zien we een enorme daling van de kracht. Dit is de fase waarin de voet het platform verlaat. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.3.5. Flight

Tijdens de zweeffase, van punt G tot I, bevindt de atleet zich niet meer op het platform en kan dus ook geen kracht gemeten worden. In punt H zien we dat de snelheid gelijk is aan 0. Dit wil zeggen dat de atleet zich op maximale spronghoogte bevindt. De waarde in punt H moet dus bepaald worden. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.3.6. Landing

Wanneer de atleet terug op het platform komt, zal deze zorgen voor de grootste piekkracht uit de curve (punt J). Bij het landen buigt men terug de heupen en de knieën om de schok op te vangen. Hierdoor ziet men dat de krachtcurve rond de lichaamsgewichtlijn zal schommelen tot deze uiteindelijk terug zal samenvallen met deze lijn. Dit is het punt waarop de atleet opnieuw de rustpositie heeft aangenomen. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.4. Spronghoogte bepalen

2.3.6.4.1. Sampling frequency

De *output* van een *force-time* curve vertaalt zich in een bestand met alle grondreactiekrachten in vermeld. Hoeveel grondreactiekrachten een krachtplatform meet wordt bepaald door de *sampling frequency*. De *sampling frequency* vertelt ons hoeveel data wordt ingewonnen per seconde en wordt uitgedrukt in Hertz [Hz]. Deze frequentie is een eigenschap van het platform en verschilt dus van krachtplaat tot krachtplaat. (Chavda et al., 2017)

Om de spronghoogte te berekenen is het interessanter om te weten om de hoeveel seconden een grondreactiekracht wordt gemeten. Deze kunnen dan naast de gemeten krachten geplaatst worden en zo wordt de kracht-tijdscurve gevormd. De periode waarin een kracht wordt gemeten noemt men ook wel een *timepoint* en kan bepaald worden met volgende formule (Chavda et al., 2017):

Vergelijking 9 Formule Timepoint (Chavda et al., 2017)

$$TP = \frac{1}{SF} \quad \text{met } TP = \text{timepoint [s]}$$

$$SF = \text{sampling frequency [Hz]}$$

Stel dat een krachtplaat een *sampling frequency* heeft van 500 Hz, dan wordt er om de 0,002 seconden een grondreactiekracht gemeten. Hoe groter deze frequentie, hoe meer data gemeten wordt en dus ook hoe nauwkeuriger de meting zal zijn. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.5. Parameters bepalen

Nu er voor elke krachtmeting een overeenkomstige tijdsmeting bestaat worden deze waarden gebruikt om enkele parameters te berekenen. Volgende basisparameters worden vaak bepaald om de verschillende fases van een *countermovement jump* beter te begrijpen. Uit deze waarden kunnen dan extra parameters bepaald worden zoals bv. spronghoogte. (Chavda et al., 2017)

2.3.6.5.1. Versnelling

Vergelijking 10 Versnelling (Chavda et al., 2017)

$$a = \frac{F_{netto}}{m} \quad \text{met } a = \text{versnelling } \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$F_{netto} = \text{nettokracht [N]}$$

$$m = \text{massa [Kg]}$$

Het is belangrijk te vermelden dat voor het berekenen van de versnelling de netto krachten worden gebruikt. Dit wil zeggen de grondreactiekracht verminderd met het lichaamsgewicht.

Vergelijking 11 Nettokracht (Chavda et al., 2017)

$$F_{netto} = F_{gr} - F_m \quad \text{met } F_{netto} = \text{nettokracht [N]}$$

$$F_{gr} = \text{grondreactiekracht [N]}$$

$$F_m = \text{lichaamsgewicht [N]}$$

2.3.6.5.2. Power

Vergelijking 12 Power (Chavda et al., 2017)

$$P = F_{gr} * V \quad \text{met } P = \text{power [W]}$$

$$F_{gr} = \text{grondreactiekracht [N]}$$

$$V = \text{snelheid } \left[\frac{m}{s}\right]$$

2.3.6.5.3. Snelheid

Vergelijking 13 Snelheid (Chavda et al., 2017)

$$v = v_0 + a * t \quad \text{met } v = \text{snelheid} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_0 = \text{beginsnelheid} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$a = \text{versnelling} \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$t = \text{tijd} [s]$$

2.3.6.5.4. Verplaatsing

Vergelijking 14 Verplaatsing (Chavda et al., 2017)

$$s = (v - v_0) * \frac{t}{2} \quad \text{met } s = \text{verplaatsing} [m]$$

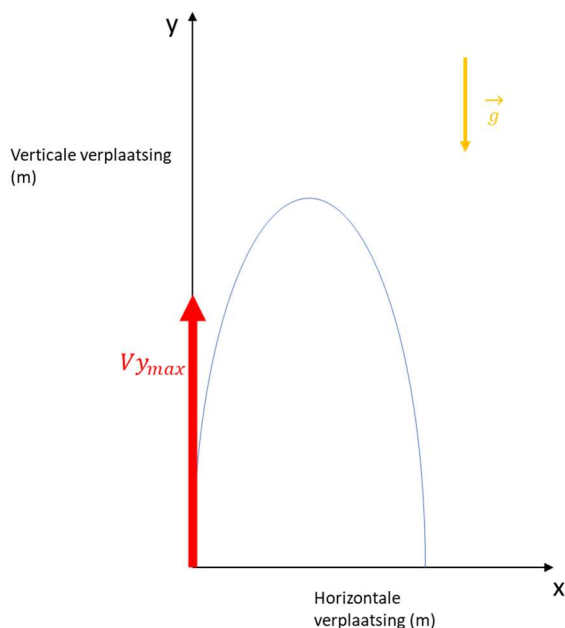
$$v = \text{snelheid} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_0 = \text{beginsnelheid} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$t = \text{tijd} [s]$$

2.3.6.6. Spronghoogte berekenen

Wanneer voorgaande parameters bepaald zijn kunnen deze gebruikt worden om de maximale spronghoogte te bepalen. In de *force-time* curve werd punt F gedefinieerd als het moment waarop de atleet de plaat verlaat. Op dat moment is de grondreactiekracht 0 en de snelheid maximaal. Aangezien de krachtplaat enkel verticale krachten meet kan ervan uitgegaan worden dat de gemeten snelheid dezelfde richting heeft als de gemeten kracht. (Chavda et al., 2017)



Figuur 16 Spronghoogte en V_{max}

Het hoogste punt van de sprong is het punt waar de snelheid van teken zal veranderen (punt H, *figuur 15*). Op dit punt is de snelheid dus 0 m/s. Uit de mechanica geldt:

Vergelijking 15 Snelheid (Giancoli, 2014)

$$(v_1)^2 = (v_0)^2 + 2 * a * s$$

Toegepast op deze situatie

$$(v_y)^2 = (v_{y0})^2 + 2 * g * y$$

$$y = \frac{(v_y)^2 - (v_{y0})^2}{2 * g}$$

Aangezien er geldt dat bij maximale spronghoogte $v_y = 0$

$$y = \frac{-(v_{y0})^2}{2 * g}$$

Waarbij

$y =$ de spronghoogte [m]

$v_{y0} =$ de startsnelheid $\left[\frac{m}{s}\right]$

$g =$ de valversnelling $\approx 9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]$

Stel nu dat een atleet het krachtplatform verlaat aan een snelheid van 4 m/s, oftewel 14,4 km/u, dan is de maximale spronghoogte gelijk aan:

$$y = \frac{-(4)^2}{2 * (-9.81)}$$

$$y \approx 0.82 \text{ m}$$

Opmerking: het teken van de valversnelling is negatief, omdat deze in tegengestelde zin werkt als de snelheid voor de maximale spronghoogte wordt bereikt. (Chavda et al., 2017) (Giancoli, 2014)

2.4. Krachtplatform vs. Spronghoogtemeter

2.4.1. Vergelijking

Tabel 2 Spronghoogtemeter vs. krachtplaat

Eigenschap	Spronghoogtemeter	Krachtplaat
Opstellen van meting	eenvoudig & snel	complex & lang
Nauwkeurigheid meting	laag	hoog
Soort sprong	meerdere soorten	enkel <i>countermovement jump</i>
Output	spronghoogte	grondreactiekrachten
Verwerking	eenvoudig	complex
Software	niet nodig	nodig
Spronghoogte	enkel maximum spronghoogte	spronghoogte op ieder moment van de sprong
Andere variabelen	geen	snelheid, power, versnelling,...

2.4.2. Voordelen & nadelen

2.4.2.1. *Spronghoogtemeter*

De spronghoogtemeter is een ideale manier om op een snelle en eenvoudige wijze een indicatie te krijgen van de spronghoogte van een speler. Het is een eenvoudige opstelling die men snel kan opzetten of afbreken. Men kan meerdere soorten sprongen meten, zoals met of zonder aanloop. En de maximale spronghoogte kan rechtstreeks, zonder verwerking, bepaald worden.

Het is wel belangrijk op te merken dat het hier gaat over een inschatting van de spronghoogte. De spronghoogte heeft maar een beperkte nauwkeurigheid (1 cm) en is gevoelig voor meetfouten. Zo is er een fout op de instelling van de spronghoogtemeter, een fout op de meting van de reikhoogte en op de horizontaliteit van de meetlatten. De enige parameter die men uit deze test kan halen is de maximale spronghoogte.

2.4.2.2. *De krachtplaat*

Het grote voordeel van een krachtplaat is dat men op een uiterst nauwkeurige manier de spronghoogte kan bepalen. Niet alleen de maximale spronghoogte kan bepaald worden, maar ook hoogtes tijdens verschillende momenten in de sprong. Er kunnen ook andere parameters (zoals power) bepaald worden via het platform. De krachtplaat geeft dus meer en betrouwbaardere informatie dan de spronghoogtemeter.

Het grote nadeel van de krachtplaat is dat men maar 1 soort sprong kan meten: de *countermovement jump*. Een krachtplaat meet grondreactiekrachten. Dit wil zeggen dat voor het bekomen van de spronghoogte enige verwerking gevraagd is.

2.5. IMU

2.5.1. Inleiding

Het grote nadeel van zowel krachtplatformen als spronghoogtemeters is dat men hoogtes meet terwijl de atleet geen prestaties levert. Vandaag de dag zijn trainers op zoek naar data tijdens een prestatie zoals een training of een wedstrijd.

Een hedendaagse atleet gebruikt data om zijn prestaties te meten en zo hierover meer informatie te krijgen. Voorgaande testen geven geen informatie over een prestatie. Men meet hier de spronghoogte, terwijl de atleet alleen maar gefocust is op het leveren van een zo hoog mogelijke sprong. Tijdens een match of training spelen nog vele andere factoren een rol zoals de bal, de aanloop, de tegenstander, enzoverder... . Deze factoren beïnvloeden de hoogte van de sprong.

2.5.2. IMU in de landmeetkunde

Het antwoord op de vraag hoe men spronghoogtes kan meten tijdens een prestatie is: door middel van een IMU-sensor. Dit staat voor *Inertial Measurement Unit*. Een IMU kan verschillende krachten, hoeksnelheden en oriëntaties van een lichaam meten aan de hand van accelerometers, gyroscopen en magnetometers. De werking van een IMU wordt later in deze scriptie besproken.

Een IMU heeft tal van toepassingen. Eén van de voornaamste vindt men terug in de moderne landmeetkunde. Hier wordt een IMU vaak gebruikt voor kinematische data-acquisitie, zoals bij fotogrammetrie, hydrografie of mobile laserscanning. Bij deze toepassingen is het meetplatform in beweging en dus onderhevig aan verschillende krachten. Deze krachten moeten gecompenseerd worden om een correcte en nauwkeurige meting te bekomen. Voor deze compensatie maakt men gebruik van een IMU.

2.5.2.1. SONAR

Bij SONAR, *Sound Navigation and Ranging*, maakt men gebruik van geluidsgolven om onderwater te kunnen meten. Dit wordt ook wel akoestische *echoloding* genoemd. Er bestaan 3 grote systemen voor onderwater *echoloding*, elk met zijn eigen voor- en nadelen.

1. *Single beam echosounder*
2. *Multi beam echosounder*
3. *Side-scan sonar*

Deze systemen worden aan boord van een schip geplaatst. Dit wil zeggen dat er gemeten wordt op een bewegend platform, namelijk het schip. Een schip kan niet perfect stil liggen in water. De golven en stroming zorgen dus voor scheepsbewegingen. (Altosole et al., 2009)

2.5.2.1.1. Scheepsbewegingen

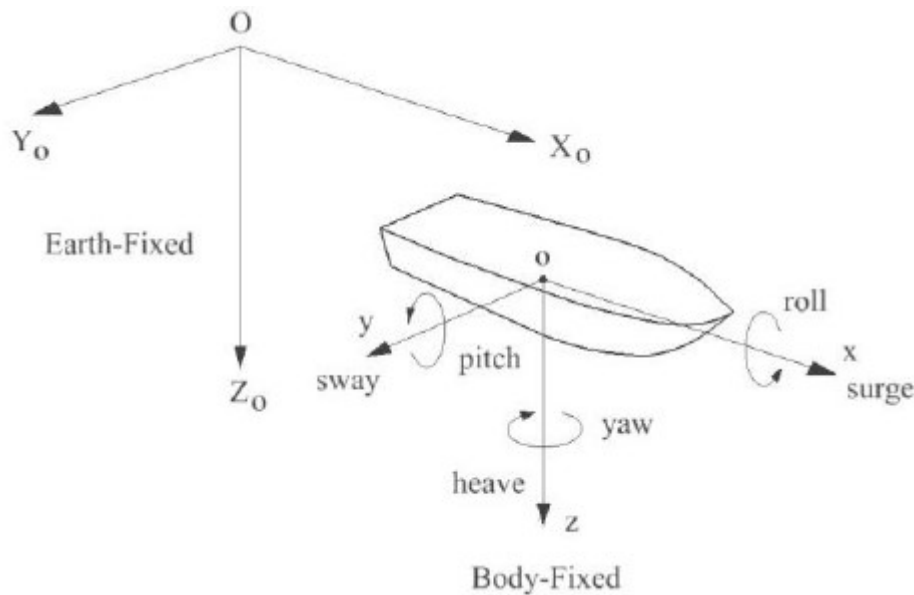
Een schip beweegt op 6 manieren in water. Dit zijn 3 translatiebewegingen waarbij het schip een verschuiving maakt over een as en 3 rotatiebewegingen waarbij het schip een rotatie maakt rond een as. (Altosole et al., 2009)

2.5.2.1.1.1. Translatiebewegingen

1. *Surge* of schrikken volgens de x-as
2. *Sway* of verzetten volgens de y-as
3. *Heave* of dompen volgens de z-as

2.5.2.1.1.2. Rotatiebewegingen

1. *Roll* of rollen rond de x-as
2. *Pitch* of stampen rond de y-as
3. *Yaw* of gieren rond de z-as



Figuur 17 Scheepsbewegingen (Altosole et al., 2009)

2.5.2.1.1.3. IMU

Deze scheepsbewegingen zorgen voor afwijkingen op de meting en moeten dus gecompenseerd worden. Hiervoor dient de IMU. Deze kan de scheepsbewegingen detecteren. De translaties worden gemeten door de accelerometers en de rotaties door de gyroscopen. De metingen van de IMU worden gebruikt om de dieptemeting te corrigeren zodat scheepsbewegingen geneutraliseerd worden. Vaak zal de IMU deel uitmaken van een INS (*Inertial Navigation System*). (Altosole et al., 2009)

2.5.2.2. Mobile laserscanning

Sinds het begin van de 21^{ste} eeuw is de interesse in mobiele landmeettechnieken gestegen. Scanners werden geïncorporeerd in mobiele meetplatformen, de zogenaamde *mobile mapping systems*. *Mobile laserscanning* is een snelle en efficiënte manier om driedimensionale topografische data te verzamelen. Hierbij wordt een voertuig gebruikt dat voorzien is van camera's en scanners om de data te verzamelen. De snelheid van de meettechniek zorgt ervoor dat de kosten voor het inwinnen van geo-informatie dalen en het beheer van open ruimte verbetert. De *mobile mapping systems* produceren een 3D *point cloud* van de gescande omgeving. Er worden meestal 3 soorten gegevens ingewonnen (Bobkowska et al., 2017):

1. Laserdata
2. Positie-en oriëntatie gegevens
3. 360° beelden



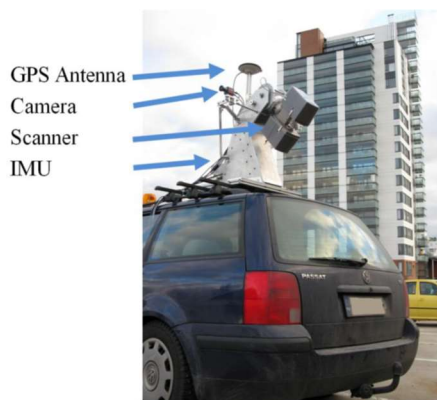
Figuur 18 3D-puntenwolk (Mobile mapping, z.d.)

2.5.2.2.1. Sensoren

De positie- en oriëntatie gegevens worden ingewonnen door 3 sensoren:

1. GNSS-sensoren
2. IMU
3. DMI of wielsensor

De GNSS-sensoren zorgen voor de absolute positiebepaling van het voertuig. Een IMU meet de versnellingen en hoeksnelheden (verdraaiingen). De DMI, *distance measurement instrument*, meet de afgelegde afstand van de wagen. De DMI en IMU bepalen de relatieve positie. De data die ingewonnen wordt via deze sensoren wordt gebruikt om de laserdata en camerabeelden zo nauwkeurig mogelijk te positioneren. (Bobkowska et al., 2017)



Figuur 19 Sensoren (Kukko et al., 2009)

2.5.2.2.2. Toepassingen

2.5.2.2.2.1. Visualisatie van de openbare ruimte

Hierbij worden panorama of 360° beelden genomen van de openbare ruimte. Aan de hand van deze data kan men gemakkelijker projecten of ontwerpen visualiseren. Ook beslissingen omtrent openbare ruimte kennen hun basis in de data ingewonnen via *mobile mapping*. Een zeer gekend voorbeeld van visualisatie is Google Streetview. Streetview zorgt ervoor dat van achter de computer elke situatie van de openbare ruimte over de hele wereld bekeken kan

worden. In deze toepassing wordt geen gebruik gemaakt van laserdata, maar enkel van beelden. (Teccon, z.d.)

2.5.2.2.2.2. Meten op mobile mapping data

Mobile mapping data wordt niet enkel gebruikt voor visualisatie. Men kan er ook metingen op uitvoeren. Volgende objecten kunnen makkelijk gemeten worden via *mobile mapping*:

- Punten
- Lijnen
- Volumes
- Vlakken

De positie en afmetingen van deze objecten worden gekoppeld aan metadata zoals bv. type, staat, kleur, vorm, Dit proces noemt men karteren en inventariseren. Deze inventaris kan men dan weer gebruiken om bv. beleidskeuzes op af te stemmen.

De openbare ruimte wijzigt voortdurend. Daarom is het belangrijk om het proces van karteren en inventariseren te herhalen. Dit wordt ook wel het actualiseren van het kaartmateriaal genoemd. Op deze manier ziet men of er nieuwe objecten zijn bijgekomen, gewijzigd of verdwenen. (Tecocon, z.d.)

2.5.2.2.2.3. 3D-modellen

Aan de hand van de data gewonnen via *mobile laserscanning* kan men 3D-modellen creëren. 3D-modellen hebben ontelbare toepassingen:

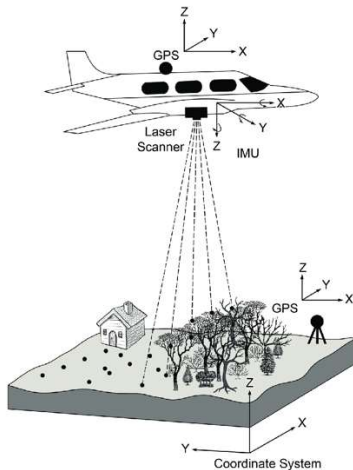
- Creëren van een virtuele omgeving
- Voorstellen van een traject in 3D
- Simuleren van noodsituaties in een virtuele omgeving
- Integreren van ontwerpen in bestaande omgevingen

(Teccon, z.d.)

2.5.2.3. *Airborne laserscanning*

Laserscanning wordt onderverdeeld in 2 grote groepen. Terrestrische laserscanning en *airborne* laserscanning. *Airborne* wil zeggen dat men gebruik maakt van mobiele, vliegende platformen zoals een vliegtuig, een helikopter of een UAV (*unmanned arial vehicle*). Wanneer laserscanning gebruikt wordt voor deze toepassing, spreekt men vaak over LIDAR. Dit staat voor *Light Detection and Ranging*.

Net zoals bij SONAR wordt de laserscanner geplaatst op een bewegend platform. In dit geval een vliegend platform. Hierdoor wordt de scanner terug beïnvloed door de verschillende bewegingen van het platform. Deze bewegingen worden gecompenseerd door de IMU en zorgen ervoor dat de meting niet wordt beïnvloed. (Popescu et al., 2015)



Figuur 20 Airborne laserscanning (Roman et al., 2019)

2.5.2.3.1.1. DHMV I & II

DHMV staat voor Digitaal HoogteModel Vlaanderen. Tot nu toe bestaan er 2 hoogtemodellen voor Vlaanderen. Het eerste model, DHMV I, werd opgenomen tussen 2001 en 2004 en heeft een puntendichtheid van 1 punt per 4 m². Het landschap in Vlaanderen verandert natuurlijk continu. Daarom werd een nieuw model, DHMV II, in het leven geroepen. Deze heeft een puntendichtheid van 16 punten per m² en is dus een stuk nauwkeuriger. (Overheid Vlaanderen, z.d.)

Het hoogtemodel geeft alle hoogtegegevens van Vlaanderen weer waarover Informatie Vlaanderen beschikt. Dit model wordt onder andere voor volgende toepassingen gebruikt (Overheid Vlaanderen, z.d.):

- Stadsmodellering
- Archeologisch onderzoek
- Geluidsstudies
- Overstromingsmodellering



Figuur 21 Digitaal Hoogtemodel (DHMV) (Overheid Vlaanderen, z.d.)

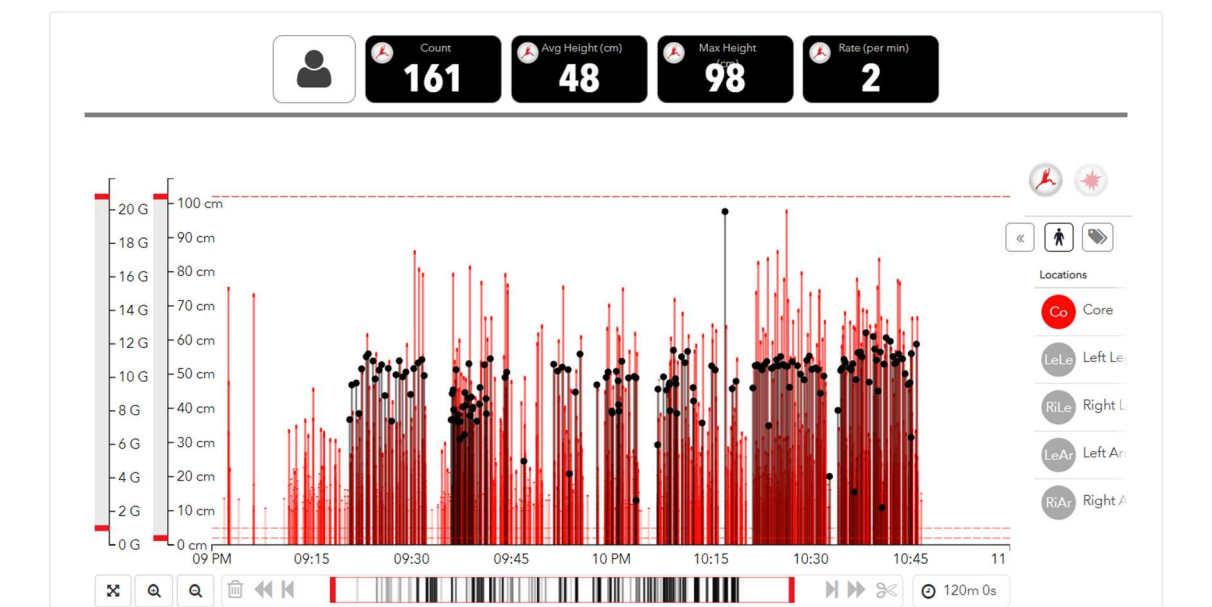
2.5.3. De VERT

Een IMU wordt dus niet alleen in de landmeetkunde gebruikt, maar sinds kort ook in de sport. De zogenaamde VERT, ontwikkeld door het gelijknamig Amerikaans bedrijf, is een *performance tracker* die in staat is de spronghoogte van een speler tijdens training of wedstrijd te meten.



Figuur 22 VERT (Sportswearable, 2015)

De *tracker* weegt ongeveer 64g en wordt via een band rond het middel bevestigd op de onderrug. Via Bluetooth is de *tracker* verbonden met een GSM of Ipad. Op deze GSM staat de app VERT. Via het Bluetooth-signaal worden de spronghoogtes doorgegeven aan de GSM. De *tracker* kan de gegevens doorgeven aan de GSM zolang deze zich in een straal van 15m tot 30m bevindt. De GSM, die in verbinding staat met het internet, laadt alle data op de website van VERT. Op deze website worden de spronghoogtes en g-krachten weergegeven in een grafiek. De data kan men ook downloaden als CSV bestand. Hierin worden alle gemeten spronghoogtes weergegeven. (VERT, z.d.)



Figuur 23 Grafiek meetwaarden VERT (VERT, 2020)

Door het lichte gewicht kan deze *tracker* gemakkelijk gebruikt worden tijdens het leveren van prestaties. De *tracker* kan men niet alleen op de onderrug maar ook rond de armen of benen vastmaken. Op deze manier kan men specifieke eigenschappen van de topsporter tracken. De spronghoogte is één van de parameters die men kan meten. Er zijn echter nog vele andere parameters die de *tracker* kan volgen:

- Landingimpact (g-krachten)
- Kinetische energie van het lichaam in beweging
- Loopimpact (g-krachten)
- Snelheden
- Explosiviteit
- Assymetrie
- ...

De werking van de VERT wordt in volgend deel besproken. (VERT, z.d.)

3. De VERT

3.1. Componenten

Zoals besproken in deel 2 is de VERT een IMU bestaande uit volgende componenten:

- Accelerometer
- Gyroscop
- Magnetometer

Uit de data, gemeten door deze componenten, worden de spronghoogtes bepaald. Op welke manier de componenten de data meten en hoe deze verwerkt worden tot spronghoogte, wordt hier beschreven. (VERT, z.d.)

3.1.1. Accelerometer

De accelerometer of versnellingsmeter is het apparaat in de VERT dat de versnelling langs de 3 assen in het assenstelsel zal meten en registreren. (Krishnan et al., 2007)

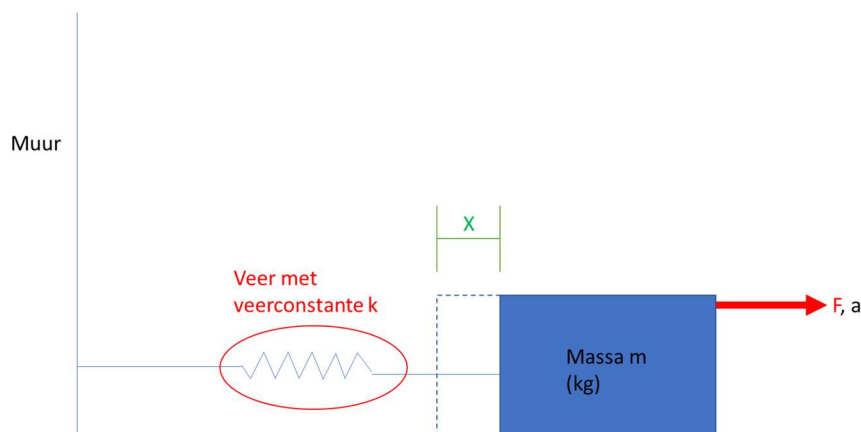
3.1.1.1. Fysisch basisprincipe

Om te begrijpen hoe een versnelling door een accelerometer wordt gemeten, wordt vertrokken van een fysisch basisprincipe. Er is een massa m , die via een veer verbonden is aan een muur. De veer heeft een veerconstante k . (Krishnan et al., 2007)



Figuur 24 Basisprincipe veer

Wanneer een bepaalde kracht F op de massa inwerkt, zal deze massa zich verplaatsen in dezelfde richting als deze kracht. Deze verplaatsing x gebeurt met een bepaalde versnelling a . (Krishnan et al., 2007)



Figuur 25 Basisprincipe veer met inwerkende kracht

3.1.1.2. *De wetten van Newton: de traagheidswet*

De eerste wet van Newton, ook wel bekend als de traagheidswet, stelt dat indien er geen resulterende kracht werkt op een voorwerp, deze ofwel in rust is ofwel rechtlijnig met een constante snelheid beweegt. (Giancoli, 2014)

Dit wil zeggen dat als er geen resulterende kracht op de massa inwerkt, de massa in rust is of beweegt aan een constante snelheid en er dus geen snelheidsverandering a is. We hebben zojuist vermeld dat er in onze opstelling een resulterende kracht inwerkt op de massa waardoor deze beweegt over een afstand x volgens versnelling a . Dit resulteert volgens de traagheidswet van Newton in volgende formule (Giancoli, 2014):

Vergelijking 16 Traagheidswet (Giancoli, 2014)

$$\begin{aligned} \vec{F} &= m * \vec{a} && \text{Als er geen resulterende kracht is} \\ \vec{F} &= 0, && \text{is er geen resulterende versnelling } \vec{a} \end{aligned}$$

Deze formule wordt toegepast op de basisopstelling (figuur 25). Men kan stellen dat:

$$\begin{aligned} [1] \quad F &= m * a = Fv && a = \text{versnelling} \left[\frac{m}{s^2} \right] \\ & && m = \text{massa} [kg] \\ & && F = \text{kracht} [N] \text{ of } \left[\frac{m*kg}{s^2} \right] \\ & && Fv = \text{veerkracht} [N] \end{aligned}$$

Waarbij Fv de kracht is die ontstaat door de spanning in de veer. De veerkracht kan men schrijven als volgt:

Vergelijking 17 Veerkracht (Giancoli, 2014)

$$\begin{aligned} [2] \quad Fv &= k * x && Fv = \text{veerkracht} [N] \\ & && k = \text{veerconstante} \left[\frac{N}{m} \right] \\ & && x = \text{verplaatsing} [m] \end{aligned}$$

Wanneer we [1] gelijk stellen aan [2], krijgen we:

$$\begin{aligned} m * a &= k * x \\ a &= \frac{k}{m} * x \\ a &= f(x) \end{aligned}$$

Hieruit blijkt dat versnelling een functie is van verplaatsing. Wanneer men dus de verplaatsing kan meten, kan de versnelling van de massa berekend worden. Er zijn verschillende methodes om de verplaatsing van de massa te meten. (Giancoli, 2014)

3.1.1.3. *Methodes om verplaatsing x te meten*

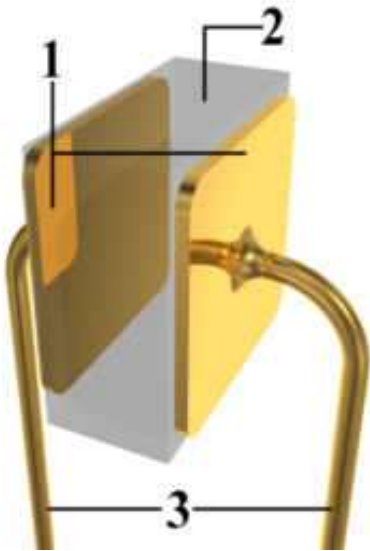
We onderscheiden 3 methodes:

1. Resistieve technieken met een elektrische weerstand;
2. Capacitieve technieken met een condensator;
3. Inductieve technieken aan de hand van het magnetisch veld.

Bij de VERT wordt gebruik gemaakt van een vlakke condensator. Daarom verdiepen we ons op de capacitieve manier om een afstand te meten. (Krishnan et al., 2007)

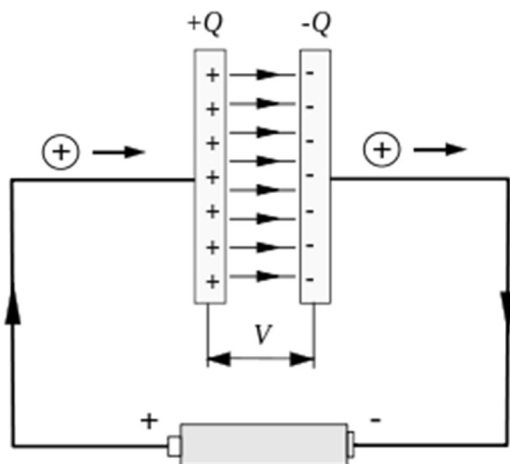
3.1.1.3.1. Vlakke condensator

Een vlakke condensator is een elektrische component die in staat is om elektrische lading op te slaan. Er wordt gesproken over een vlakke condensator omdat deze is opgebouwd uit 2 grote, geleidende vlakken. Deze vlakken worden op een bepaalde afstand van elkaar gehouden. Tussen de 2 geleiders bevindt zich een niet-geleidend materiaal of een vacuüm. Deze ruimte wordt ook wel het diëlektricum genoemd. Er bestaan nog andere condensatoren zoals een bol- of cilindrische condensator. Aangezien in de VERT een vlakke condensator wordt gebruikt, wordt enkel deze besproken. (Giancoli, 2014)



Figuur 26 Principe van een condensator (Wikipedia, 2003)

Wanneer de ene plaat positief geladen is ten opzichte van de andere plaat, verplaatsen de elektronen in het diëlektricum ietwat naar de kant van de positief geladen leider. Hierdoor wordt de lading samengeperst aan de polen en kan de condensator dus elektrische lading opslaan. (Giancoli, 2014)



Figuur 27 Schema werking condensator (Wikipedia, 2011)

Hoe meer lading een condensator opneemt, hoe groter de spanning over de condensator zal worden. De capaciteit van een condensator is het vermogen om elektrische lading op te slaan en wordt uitgedrukt in Coulomb per Volt $\left[\frac{C}{V}\right]$ of Farad $[F]$. De capaciteit bij een vlakke condensator is afhankelijk van:

1. De oppervlakte van de geleiders
2. De afstand tussen de 2 geleiders
3. Het diëlektricum

De capaciteit van een vlakke condensator kan met volgende formule berekend worden:

Vergelijking 18 Capaciteit vlakke condensator (Giancoli, 2014)

$$C = \epsilon_0 * \frac{A}{d} \quad \text{met } C = \text{de capaciteit [F]}$$

$A = \text{oppervlakte van de geleiders [m}^2\text{]}$

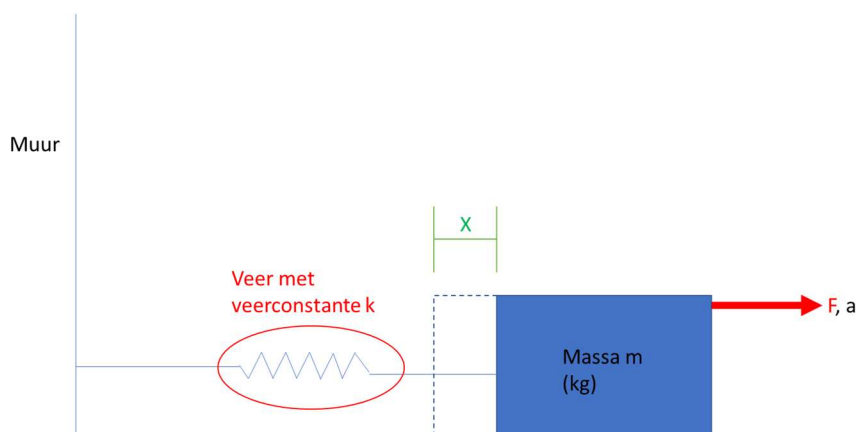
$d = \text{afstand tussen de geleiders [m]}$

$\epsilon_0 = \text{de elektrische veldconstante} = 8.85419 * 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$

Naarmate de afstand d stijgt, zal de capaciteit C dalen. Wanneer dus de capaciteit gemeten kan worden, kan men de afstand tussen de 2 geleiders berekenen. Via een *signal conditioning circuit* kan de capaciteit elektronisch gemeten worden. (Giancoli, 2014)

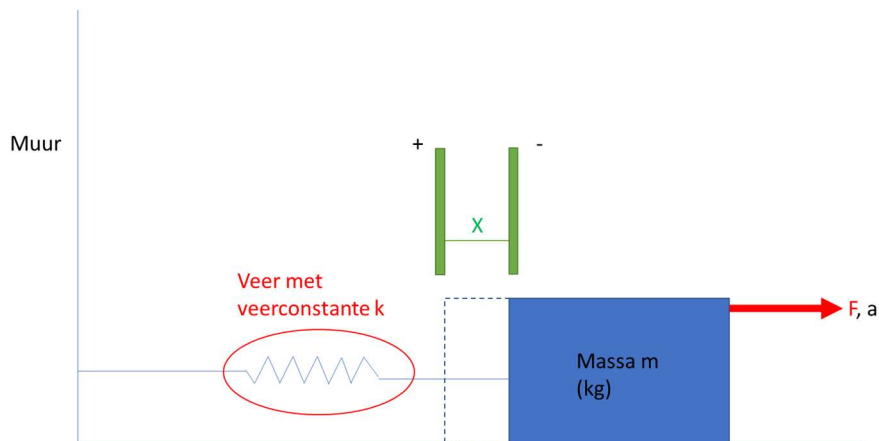
3.1.1.3.2. Vlakke condensator in basisprincipe

Men gaat terug naar de basisopstelling met een massa m verbonden via een veer aan de muur.



Figuur 28 Basisprincipe veer

Stel nu dat een vlakke condensator zo wordt opgesteld, dat de ene geleider samenvalt met de beginpositie van de massa en de andere geleider meebeweegt met de massa zelf. (Krishnan et al., 2007)

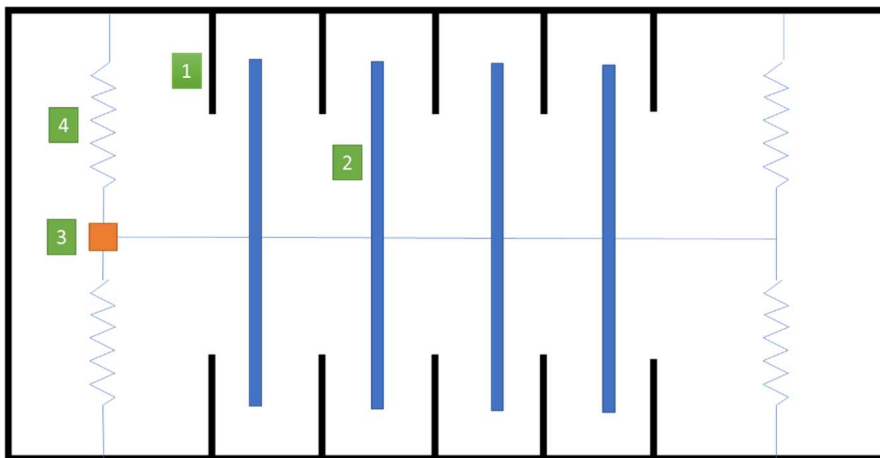


Figuur 29 Basisprincipe veer met condensator

Wanneer men de capaciteit meet, kan de afstand x berekend worden aan de hand van *vergelijking 17*. Doordat men de afstand x kan bepalen, kan de versnelling bepaald worden in functie van de verplaatsing. (Krishnan et al., 2007)

3.1.1.4. Accelerometer in IMU

Het is natuurlijk onmogelijk om bovenstaande beschreven opstelling in een IMU te gebruiken. Daarom wordt gebruik gemaakt van MEMS, wat staat voor *Micro Electro Mechanical Systems*. Dit zijn systemen die bestaan uit zowel mechanische als elektrische componenten gefabriceerd op een schaal van een micrometer. Aan de hand van *figuur 30* wordt de werking van een accelerometer in een IMU verduidelijkt. (Krishnan et al., 2007)

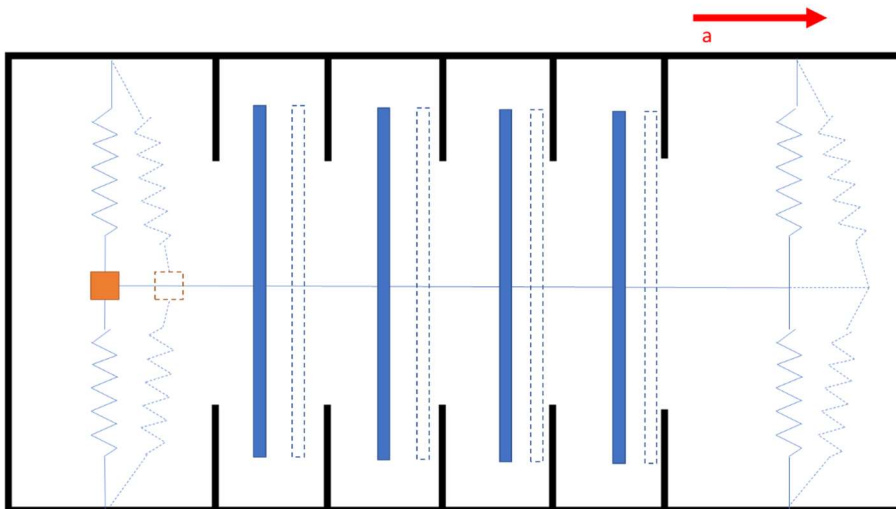


Figuur 30 Accelerometer in rust

Met:

1. De vaste platen
2. De bewegende platen
3. Een kleine massa
4. Een veer

Wanneer het systeem beweegt met een bepaalde versnelling a , zal de afstand tussen de vaste platen en de bewegende platen groter worden. Dit zorgt voor een verandering in capaciteit die gemeten wordt. Aan de hand daarvan kan men de versnelling in functie van de verplaatsing bepalen. (Krishnan et al., 2007)



Figuur 31 Accelerometer in beweging

Wanneer men MEMS in de x-, y – en z-richting plaatst, kan de versnelling volgens de drie assen bepaald worden.

$$\begin{cases} a_x \\ a_y \\ a_z \end{cases} \text{ in } \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

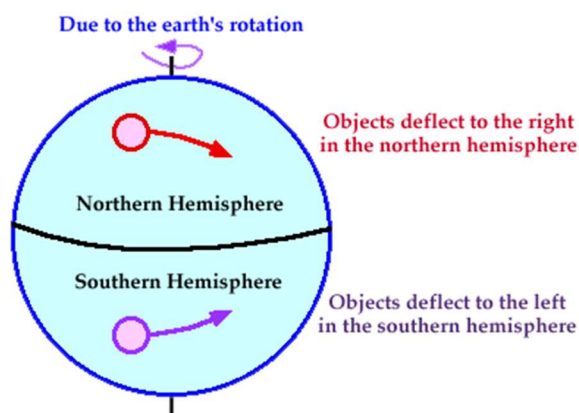
3.1.2. Gyroscop

3.1.2.1. Doel

Een gyroscop meet hoeksnelheden. De gyroscop detecteert dus de rotatie van de VERT rond zijn 3 assen. Gyroscopen maken gebruik van het Coriolis-effect om deze hoeksnelheden te meten. (Passaro et al., 2017)

3.1.2.2. Coriolis-effect

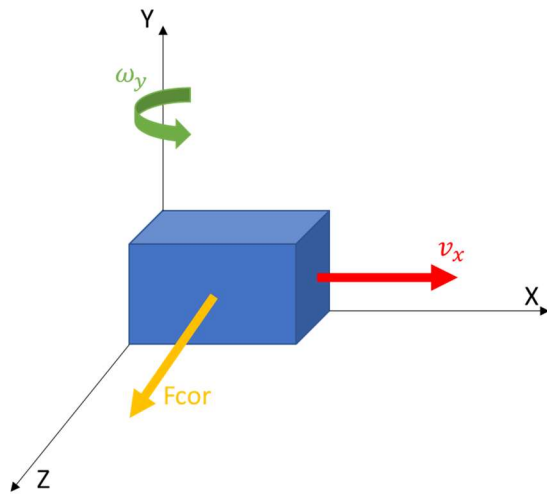
Het Coriolis-effect stelt dat wanneer een object beweegt in een roterend systeem, de objectbaan niet recht loopt maar afbuigt. *Figuur 32* toont hoe de baan van een massa op Aarde zal afbuigen doordat deze massa zich bevindt in een roterend systeem. (Giancoli, 2014)



Figuur 32 Coriolis kracht (ww2010, z.d.)

Stel dat een massa m zich verplaatst volgens de x-as met een snelheid v_x . De massa draait rond de y-as met een hoeksnelheid ω_y . Dan zal de corioliskracht F_{cor} inwerken op de massa

m. De Corioliskracht is een vectoriële grootheid en staat loodrecht op de richting van de snelheid v_x en de richting van de hoeksnelheid ω_y . (Giancoli, 2014)



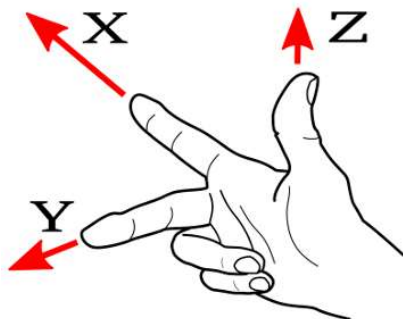
Figuur 33 Richting en zin Corioliskracht

De grootte van de Corioliskracht kan men berekenen volgens *vergelijking 18*:

Vergelijking 19 Corioliskracht (Giancoli, 2014)

$$F_{cor} = -2 * m * v_x * \omega_y$$

De richting van de kracht kan men achterhalen via de rechterhandregel.



Figuur 34 Rechterhandregel (GitHub, 2020)

- De wijsvinger wijst in de richting van de snelheid v_x
- De duim wijst in de richting van de hoeksnelheid ω_y
- De middelvinger zal nu wijzen in de **tegengestelde zin** van de Corioliskracht

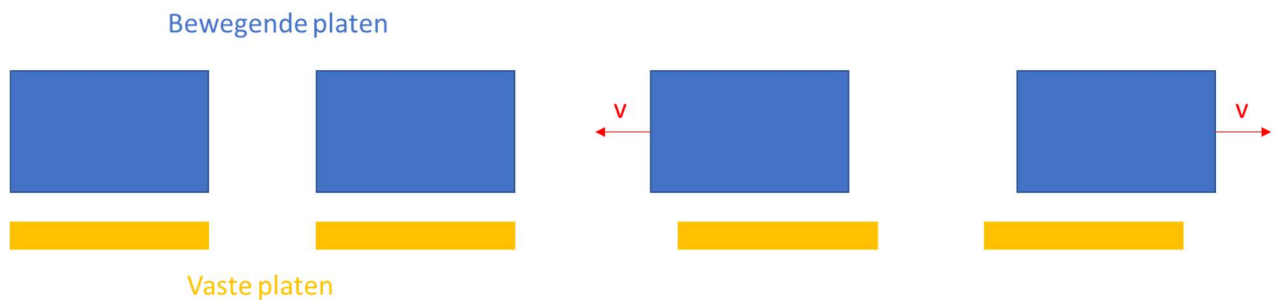
Nu kan de hoeksnelheid ω_y berekend worden door de Corioliskracht F_{cor} te bepalen. (Giancoli, 2014)

$$\omega_y = \frac{F_{cor}}{-2mv_x}$$

3.1.2.3. Corioliskrachten bepalen

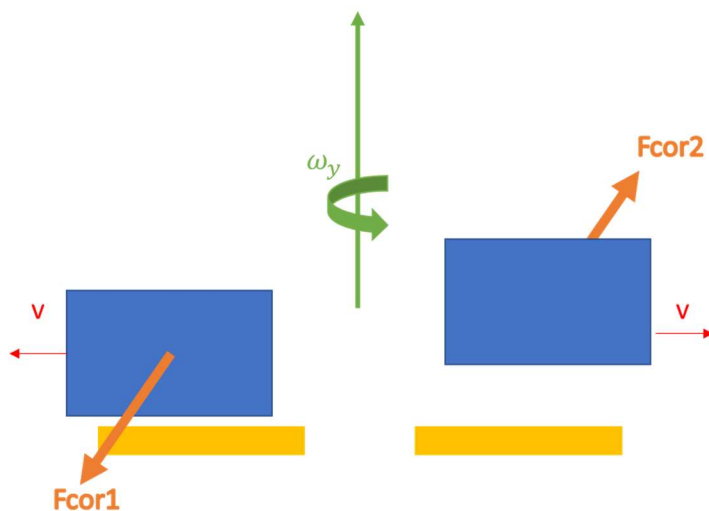
Net zoals bij de accelerometervoorzet wordt de capacitive manier gebruikt om de versnelling, en dus ook de kracht, te bepalen. Het principe om deze kracht te bepalen is dan ook vrij gelijkaardig aan dat van de accelerometervoorzet. Alhoewel er bij de gyroscoop enkele kleine afwijkingen zijn ten opzichte van het systeem van de accelerometervoorzet. (Passaro et al., 2017)

Bij de gyroscoop wordt gebruik gemaakt van een systeem met 2 massa's. Deze 2 massa's bewegen in een continue maar tegengestelde zin ten opzichte van elkaar. (Passaro et al., 2017)



Figuur 35 Gyroscoop 2 massa-systeem

Wanneer deze massa's onderhevig zijn aan een bepaalde rotatiesnelheid ω , dan zal de Corioliskracht F_{cor} inwerken op onderstaande manier. Aangezien de 2 massa's in een tegengestelde zin bewegen zullen de richtingen van de Corioliskrachten tegengesteld zijn aan elkaar. (Passaro et al., 2017)



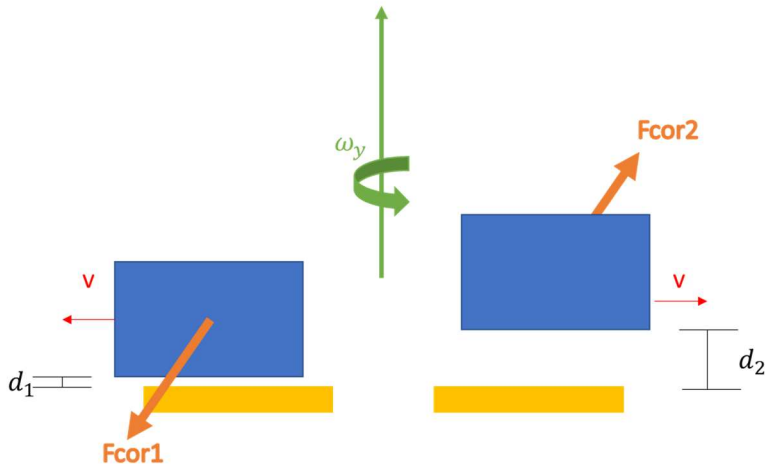
Figuur 36 Corioliskracht bij gyroscoop

De totale Corioliskracht kan men vinden door de 2 Corioliskrachten van elkaar af te trekken. (Passaro et al., 2017)

$$F_{cor} = |F_{cor1} - F_{cor2}|$$

3.1.2.4. Capaciteit

Door de Coriolis-effecten die inwerken op de massa's zullen deze bewegende platen niet alleen een zijdelingse, tegengestelde beweging maken, maar zullen ze ook een op- en neerwaartse beweging maken. Dit zorgt ervoor dat de afstand tussen de bewegende platen en de vaste platen stijgt of daalt. Zoals gezien bij de accelerometer zal dit een verandering in capaciteit teweeg brengen.



Figuur 37 Condensator in gyroscoop

Uit vergelijking 17 volgt dat:

$$C1 = \epsilon_0 * \frac{A}{d_1}$$

$$C2 = \epsilon_0 * \frac{A}{d_2}$$

$$\text{en } \Delta d = |d_1 - d_2|$$

Net zoals bij de accelerometer kan de capaciteit gemeten worden via een *signal conditioning circuit*. Alleen zal er hier een verschil in capaciteit gemeten worden ΔC , waardoor het afstandsverschil Δd bepaald kan worden. Bij de accelerometer zag men ook al dat er een verband bestaat tussen de verplaatsing en de versnelling.

$$a = f(d)$$

Uit de eerste wet van Newton, *vergelijking 15*, geldt:

$$\vec{F} = m * \vec{a}$$

Dus kan men stellen dat:

$$F = m * a = F_{cor}$$

$$m * a = -2 * m * v * \omega$$

$$a = -2 * v * \omega$$

$$\omega = \frac{a}{-2 * v}$$

3.1.2.5. IMU

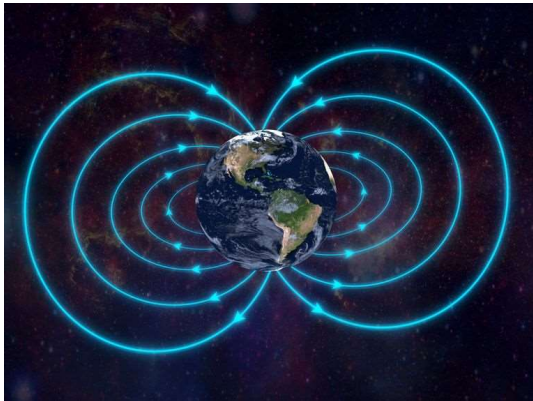
Voorgaande opstelling wordt als MEMS gebouwd op een schaal van een micrometer. Wanneer een gyroscoop geplaatst wordt op elke as, kan de hoeksnelheid voor elke as bepaald worden.

$$\begin{cases} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{cases} \text{ in } \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

3.1.3. Magnetometer

3.1.3.1. Doel

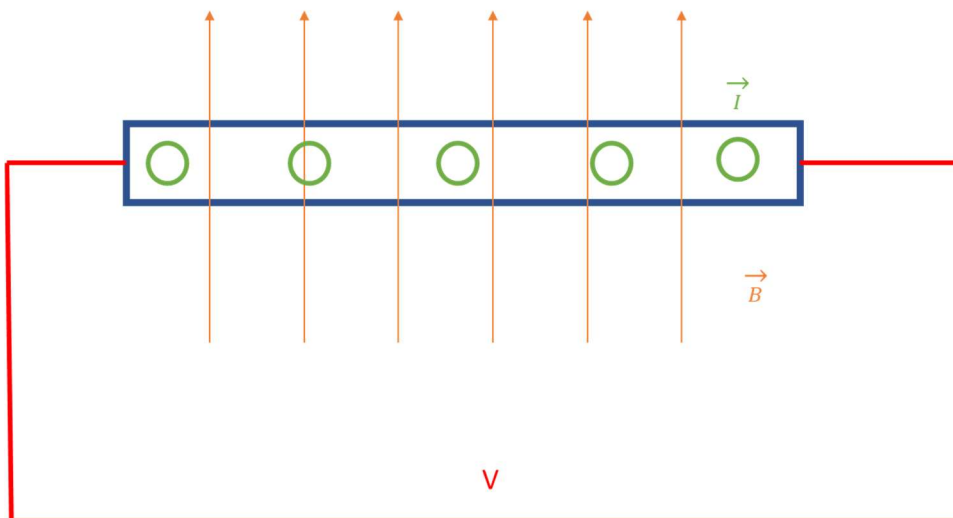
Het doel van de magnetometer is het meten van het magnetisch veld, en hoofdzakelijk afwijkingen hiervan, rondom de IMU. Door het magnetisch veld waar te nemen kan het noorden bepaald worden. Zo krijgt men meer informatie rond de positie en de locatie van de IMU. Het outputsignaal van de magnetometer is weergegeven in een elektrische waarde zoals spanning (Volt) of stroom (ampère). (Han et al., 2011)



Figuur 38 Magnetisch veld (HLN, 2019)

3.1.3.2. Hall effect

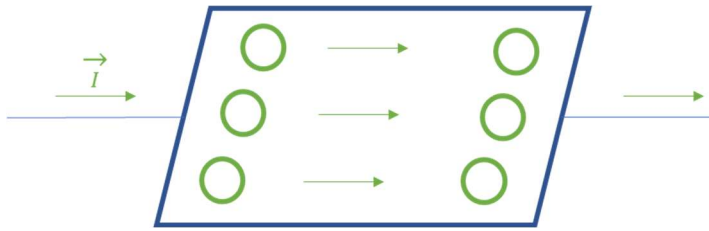
Een magnetometer maakt gebruik van het Hall effect. Het Hall effect stelt dat wanneer een stroomgeleidende voorwerp wordt geplaatst in een magnetisch veld, er een spanning ontstaat over het geleidend voorwerp loodrecht op zowel de stroom als het magnetisch veld. (Giancoli, 2014)



Figuur 39 Stroomgeleidende voorwerp in magnetisch veld

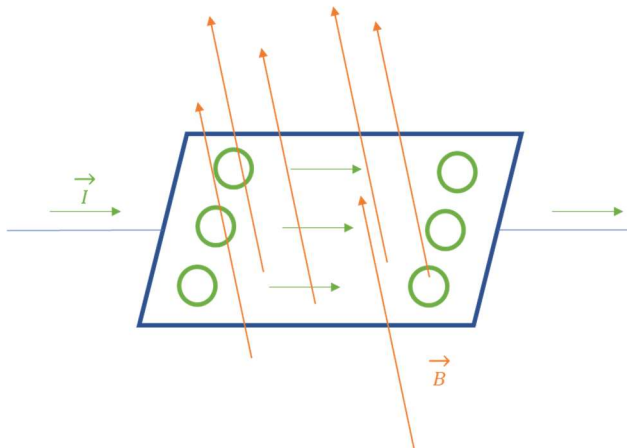
3.1.3.2.1. Hoe wordt spanning opgewekt door het Hall effect?

Stel men neemt een dunne, metalen plaat. Deze plaat is aangesloten op een stroombron. Dan zal men zien dat de elektronen zich voortplanten in de plaat volgens *figuur 40*. Men ziet dat de elektronen gelijk verdeeld zijn over de metalen plaat. (Giancoli, 2014)



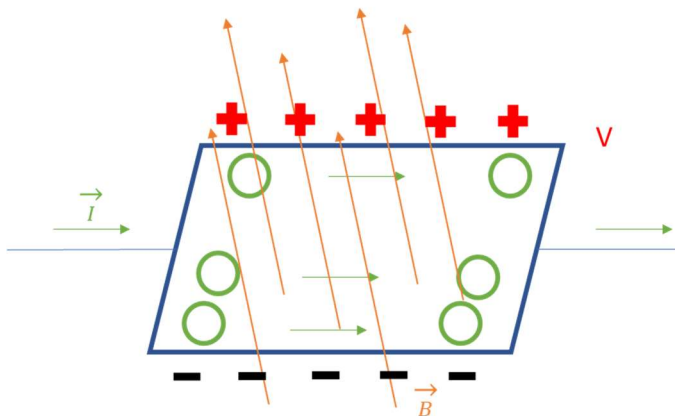
Figuur 40 Voortplanting elektronen

Stel nu dat deze metalen plaat in een magnetisch veld geplaatst wordt.



Figuur 41 Metalen plaat in magnetisch veld

Dan ziet men dat er een verandering plaats vindt in de verdeling van de elektronen in de metalen plaat. De elektronen zijn nu ongelijk verdeeld over de plaat. Door deze ongelijke verdeling ontstaat er een spanning over de metalen plaat. Deze spanning is loodrecht op zowel het magnetisch veld als de stroom. (Giancoli, 2014)



Figuur 42 Verdeling van elektronen

3.1.3.2.2. Hoe en waarom verandert de elektronendensiteit?

Wanneer een elektrische lading zich in een magnetisch veld bevindt ontstaat er een kracht die inwerkt op de lading, namelijk de Lorentzkracht. Deze kracht is afhankelijk van (Giancoli, 2014):

1. Het magnetisch veld \vec{B}
2. De snelheid van het elektron v
3. De lading van het elektron q

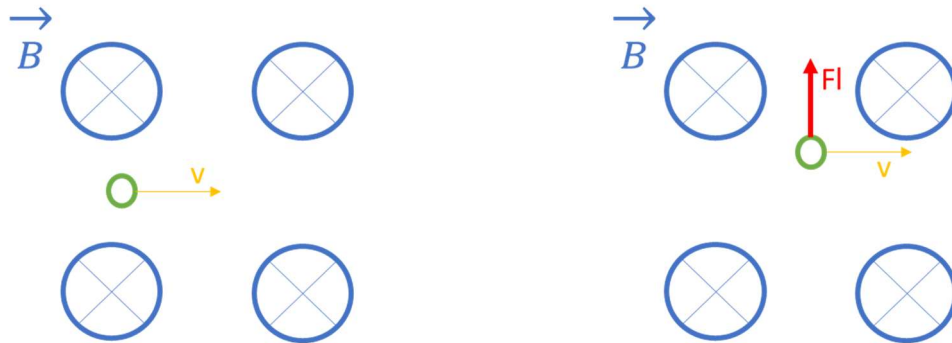
De Lorentzkracht wordt bepaald door volgende vergelijking:

Vergelijking 20 Lorentzkracht (Giancoli, 2014)

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

De richting van deze kracht is loodrecht op de richting van het magnetisch veld en de richting van de snelheid.

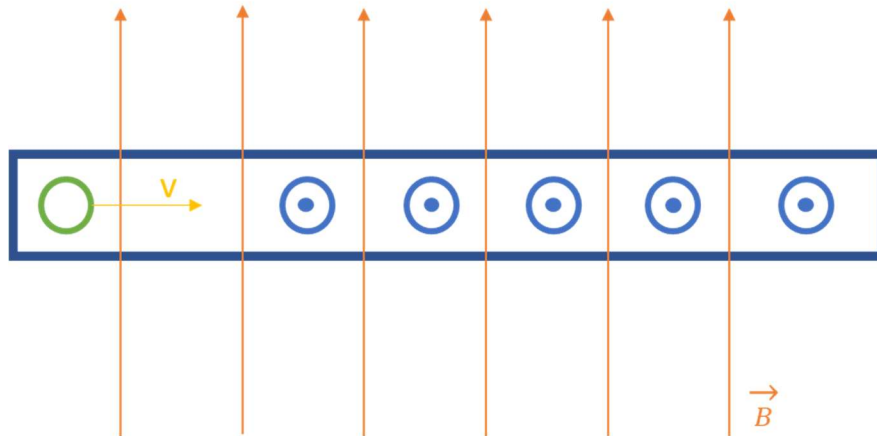
$$\vec{F} = \vec{v} \times \vec{B}$$



Figuur 43 Elektrische lading in magnetisch veld

3.1.3.3. Hall effect in IMU

Volgens de opstelling van een geleidend voorwerp gekoppeld aan een stroombron (figuur 39) hebben de geladen elektronen een specifieke snelheid v . Wanneer deze elektronen onderworpen worden aan een magnetisch veld, ontstaat de Lorentzkracht die inwerkt op deze elektronen en loodrecht staat op de richting van de stroom en het magnetisch veld. Hierdoor verandert de baan van de elektronen. (Han et al., 2011)



Figuur 44 Baan elektron

Zoals eerder gezien, zal hierdoor de dichtheid van de elektronen veranderen. En zal er een spanning ontstaan. Wanneer de grootte van het magnetisch veld of de richting van het magnetisch veld verandert, zal de grootte of richting van de Lorentzkracht wijzigen. Hierdoor wordt de dichtheid van de elektronen anders verdeeld, wat leidt tot een verandering in spanning. Deze spanning is dus een maat voor de verandering in grootte en richting van het magnetisch veld. (Han et al., 2011)

Stel dat de toegepaste stroom constant blijft en het magnetisch veld verandert. Meer elektronen zullen dan veranderen van positie. Dit resulteert in meer spanning. Deze verandering in spanning is meetbaar en wordt gebruikt in Hall effect sensoren om het magnetisch veld te detecteren. Deze sensoren worden gebruikt in de IMU met als outputsignaal spanning (Volt). (Han et al, 2011)

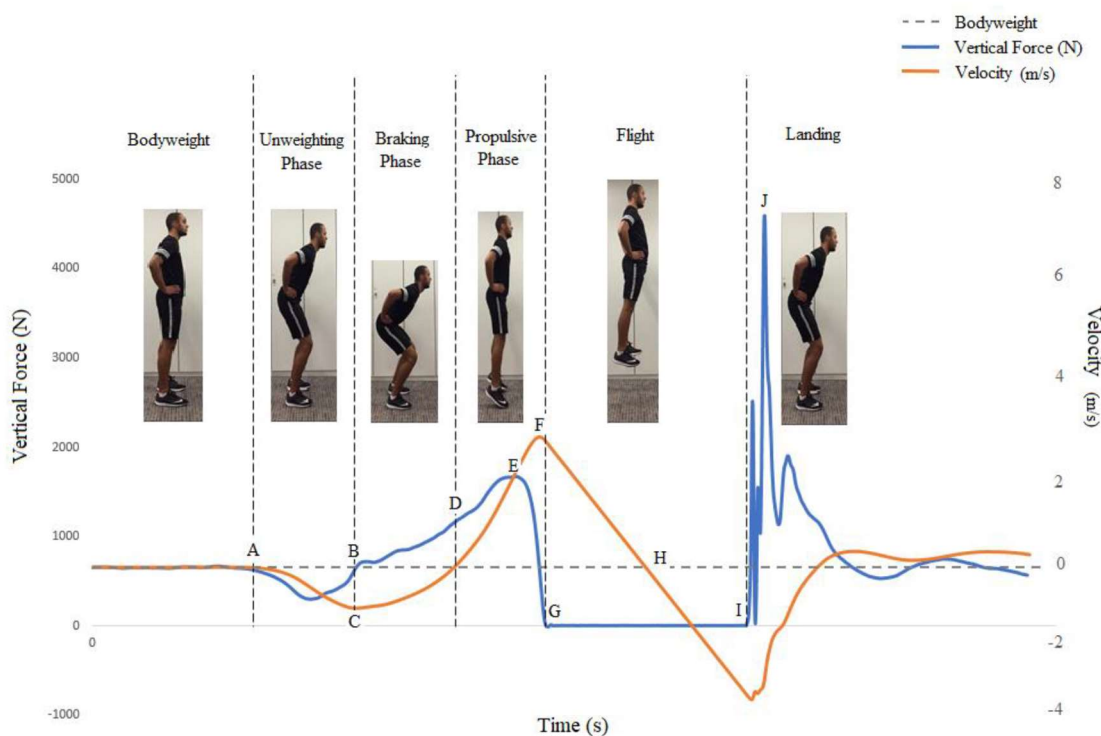
3.2. Spronghoogte berekenen

Men begrijpt nu volgens welke principes de VERT de versnellingen en rotaties meet. Maar uit deze metingen moet nog de spronghoogte berekend worden. (Rantalainen et al., 2019)

3.2.1. Flight time

De spronghoogte op basis van inertiale metingen worden meestal berekend aan de hand van de *flight time*. De *flight time* is de tijd waarbij een atleet zich in de zweeffase bevindt. Volgens de *force-time* (figuur 45) curve loopt de zweeffase van punt F naar I.

De ruwe data van de VERT bestaat uit versnellingen. Deze versnellingen worden geïntegreerd naar snelheden. Aan de hand van de snelheden wordt de *flight time* afgeleid. De zweeffase wordt bepaald door de *take-off* en landing. Door de *time points* van *take-off* en landing te definiëren en deze van elkaar af te trekken krijgt men de *flight time*. (Rantalainen et al., 2019)



Figuur 45 Force-time curve countermovement jump (Chavda et al., 2017)

De maximale snelheid wordt gedefinieerd als het moment van *take-off*. De minimale snelheid wordt bereikt bij de landing. Deze methode wordt ook wel de *velocity extrema-based* methode genoemd. (Rantalainen et al., 2019)

3.2.1.1. Voorwaarden

De *velocity extrema-based* methode vereist dus dat de *take-off* en landing correct bepaald worden. Vaak moet de minimale en maximale snelheid voldoen aan enkele voorwaarden. Om snelheden te vinden die kunnen gedefinieerd worden als *take-off* of landing, moet de ruwe data (de versnellingen) meestal voldoen aan enkele voorwaarden:

- De verticale versnelling tijdens de zweeffase blijft onder de maximum waarde: bv. 0.5g;
- De totale *flight time* bevindt zich in een bepaald tijdsinterval: bv. [0.2; 0.9];
- De eerste sprong van overlappende sprongtijdstippen wordt behouden.

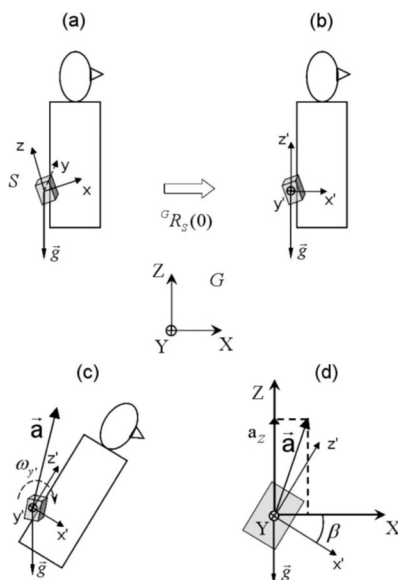
(Rantalainen et al., 2019)

3.2.1.2. Assenstelsel

De minimum en maximum snelheid tijdens de zweeffase moet dus bepaald worden. Hiervoor integreert men de versnellingen, of ruwe data, naar snelheden. Vooraf moet eerst afgevraagd worden in welk assenstelsel de VERT meet en in welk assenstelsel de sprong wordt berekend.

Wanneer het assenstelsel van de VERT bekeken wordt ten opzichte van het globale assenstelsel ziet men dat deze onderhevig is aan verschillende rotaties en translaties. Dit is ook wat de VERT zal meten. De waarden die hier gemeten worden, moeten omgezet worden in het globale assenstelsel. Deze omzetting is nodig omdat de verticale versnelling in het globale assenstelsel wordt gebruikt om de snelheden te berekenen. Om de versnellingen, gemeten door de VERT, om te zetten naar het globale assenstelsel is er een 3D-rotatie nodig. Om deze rotatie te bewerkstelligen, wordt gebruik gemaakt van quaternionen.

(Rantalainen et al., 2019)



Figuur 46 Assenstel VERT (Picerno et al., 2011)

3.2.2. 3D-rotatie

De 3-dimensionale rotatie van de versnellingen gebeurt aan de hand van de quaternionen. De quaternionen zijn een uitbreiding van de complexe getallen, die op zich een uitbreiding zijn van de reële getallen. Het gaat hier dus om een 4-dimensionale uitbreiding van de reële getallen. Een quaternion q bestaat uit 4 reële getallen en 4 eenheden en wordt als volgt beschreven (Yan-Bin, 2015):

$$q = a + b * i + c * j + d * k$$

met a, b, c en $d \in \mathbb{R}$

Waarbij volgende rekenregel geldt:

$$i^2 = j^2 = k^2 = i * j * k = -1$$

3.2.2.1. 2D-rotaties

Vooraleer de 3D-rotatie aan de hand van quaternionen besproken worden, staat men even stil bij de manier waarop complexe getallen ons de oplossing geven voor 2D-rotaties. Stel dat men het punt A (6;3) wil roteren over een hoek van 30° rond de oorsprong, dan kan men de coördinaten van dit punt, punt B, berekenen aan de hand van complexe getallen.

Eerst worden de coördinaten van punt A geschreven als een complex getal:

$$A = 6 + 3i$$

De hoek 30° wordt ook geschreven als complex getal:

$$\cos(30^\circ) + \sin(30^\circ) i$$

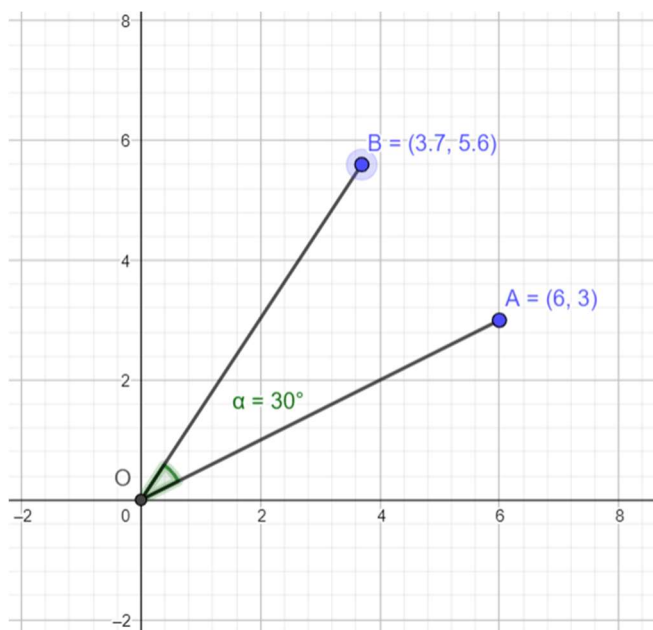
Wanneer men van deze getallen het product neemt krijgt men de coördinaten van B:

$$B = (\cos(30^\circ) + \sin(30^\circ) i) * (6 + 3i)$$

$$B = (3,696; 5.598)$$

$$B = (3,7; 5,6)$$

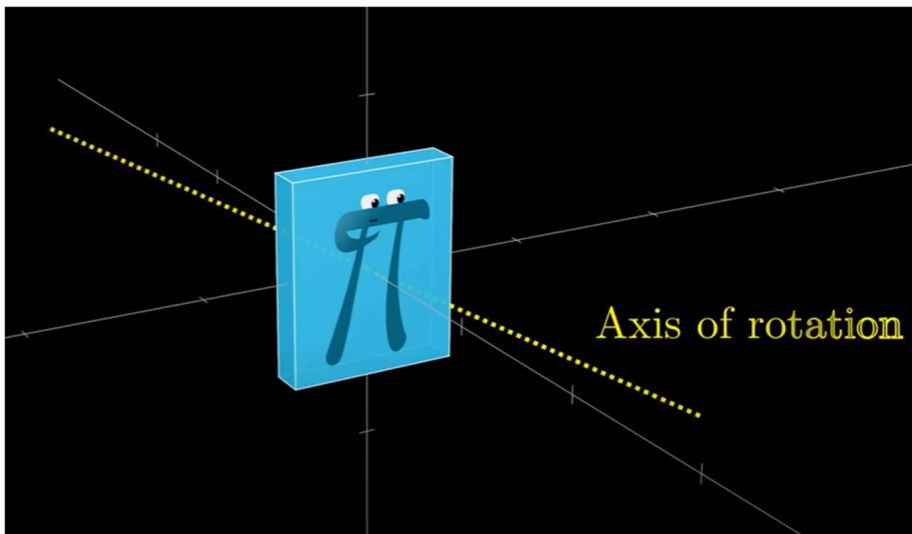
Op deze manier worden de coördinaten bepaald van een punt, nadat dit punt een 2D-rotatie heeft gemaakt. Op een gelijkaardige manier worden 3D-rotaties aan de hand van quaternionen berekend. (Yan-Bin, 2015)



Figuur 47 2D-rotatie (Geogebra, 2020)

3.2.2.2. 3D-rotaties

Op een gelijkaardige manier als bij 2D-rotatie, worden quaternionen gebruikt om de 3D-rotatie van een punt te berekenen. Stel men heeft een punt p dat men wil laten roteren onder een bepaalde hoek α rond een as.



Figuur 48 Rotatie-as (Youtube, 2018)

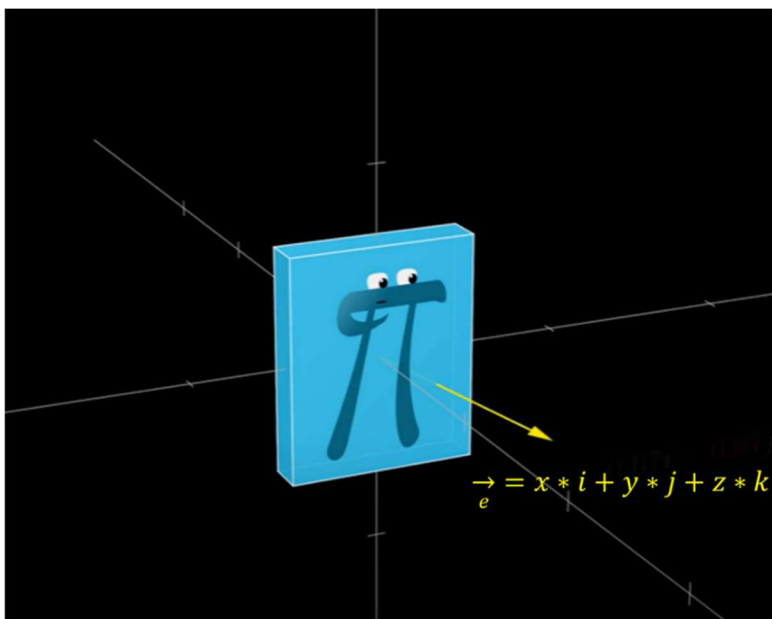
Eerst wordt deze as gedefinieerd als een eenheidsvector.

$$\vec{e} = x * i + y * j + z * k$$

met x, y en $z \in \mathbb{R}$

Een eenheidsvector wil zeggen dat:

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1$$



Figuur 49 Eenheidsvector (Youtube, 2018)

Nu wordt de hoek α gebruikt om een quaternion te maken:

$$q = \left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) * (x * i + y * j + z * k) \right)$$

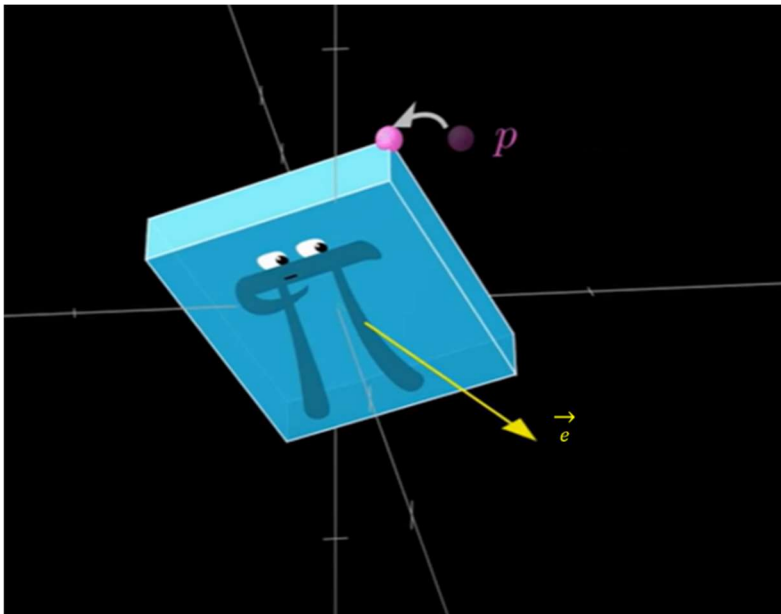
met x, y en $z \in \mathbb{R}$

Waarbij:

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \text{het reële deel}$$

$$(x * i + y * j + z * k) = \text{het imaginaire deel}$$

In tegenstelling tot de 2D-rotatie, bestaat het imaginaire gedeelte nu uit 3 componenten in plaats van 1. (Yan-Bin, 2015)



Figuur 50 3D-rotatie (Youtube, 2018)

Neemt men nu punt p , dat wordt geroteerd rond een as onder een bepaalde hoek α . Dit punt is ook beschreven in i, j en k -componenten.

$$p = a * i + b * j + c * k$$

met a, b en $c \in \mathbb{R}$

Nu de rotatie-as en het punt p geschreven is als quaternionen, kan men het punt p' bepalen met volgend product:

Vergelijking 21 Quaternionenproduct (Rantalainen et al., 2019)

$$p' = q * p * q^{-1}$$

Waarbij:

q = de rotatie – as geschreven als quaternion

p = het punt geschreven als quaternion

q^{-1} = de inverse van q

p' = het punt p geroteerd rond de roatie – as over een hoek α

3.2.3. Snelheid

Nu de verticale versnellingen gekend zijn, moeten hieruit de snelheden gehaald worden. Deze bekomt men door trapezoïdale integratie van de versnelling over tijd.

$$v = \int a dt$$

Hierdoor wordt de meting beïnvloed door *integration drift*. Dit wil zeggen dat een fout in de meting van de versnelling, een grotere fout geeft in de bekomen snelheid na integratie. Deze *drift* moet gecompenseerd worden door een *signal processing filter*. Een voorbeeld van zo'n filter is de *high-pass Butterworth-filter*. (Rantalainen, 2019)

3.2.4. Spronghoogte berekenen

Nu de snelheid-extrema gekend zijn kan men hieruit de *flight time* halen. Aan de hand van het overeenkomstig *time point* wordt dit tijdsinterval berekend. Eens dit gekend is kan de spronghoogte berekend worden uit volgende formule:

Vergelijking 22 Spronghoogte (Rantalainen et al., 2019)

$$\text{Spronghoogte} = \frac{g}{8} * (\text{flight time})^2 \quad \text{met spronghoogte in [m]}$$

flight time in [s]

$$g = \text{valversnelling} \approx 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

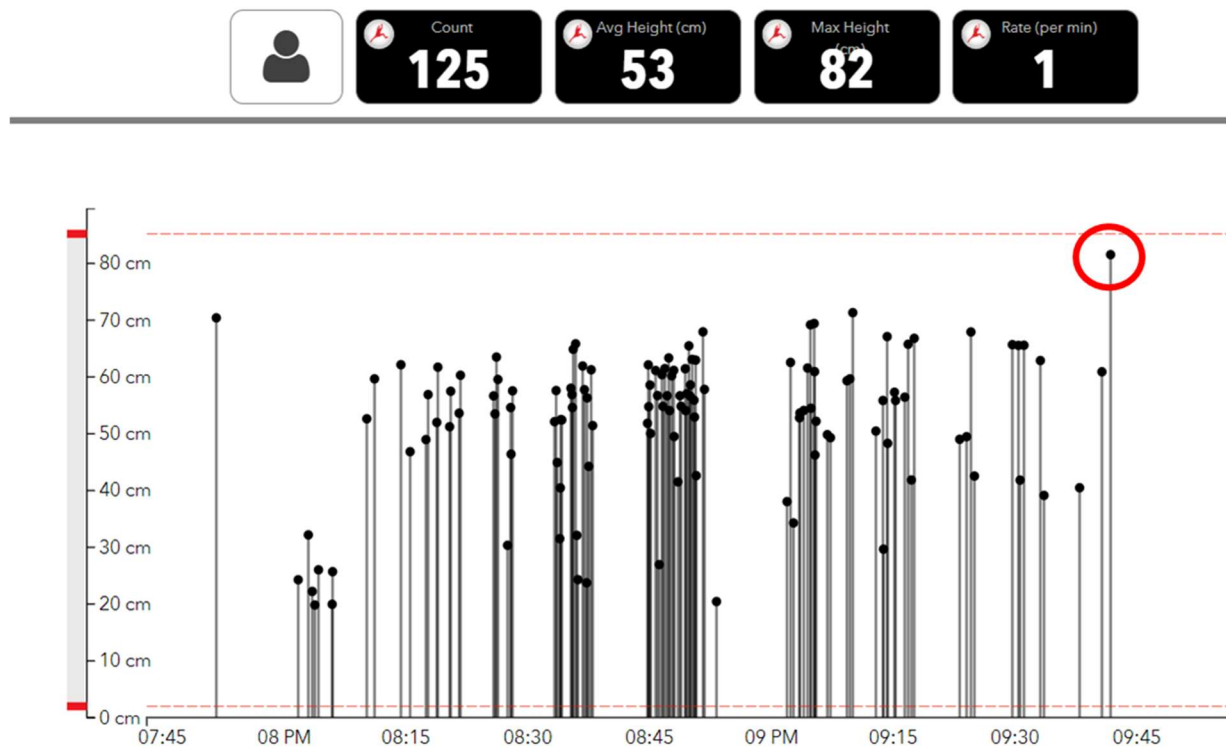
4. Kwaliteitsanalyse

4.1. Inleiding

De VERT werd gebruikt om het aantal sprongen en bijbehorende spronghoogtes te meten tijdens de training. Waarvoor deze data aangewend wordt, komt in een volgend deel aan bod. De gemeten data wordt automatisch op de website van VERT geplaatst en uitgezet in grafieken. Ook het totaal aantal sprongen van een training en de gemiddelde spronghoogtes worden weergegeven. Wanneer deze grafieken in detail worden bekeken, valt het op dat er een paar duidelijke uitschieters zijn ten opzichte van de gemiddelde spronghoogte van één training. In totaal werd voor 11 trainingen data verzameld, waarvan voor de onderstaande duidelijk een aantal uitschieters te noteren zijn.

4.1.1. Training 28 november 2019

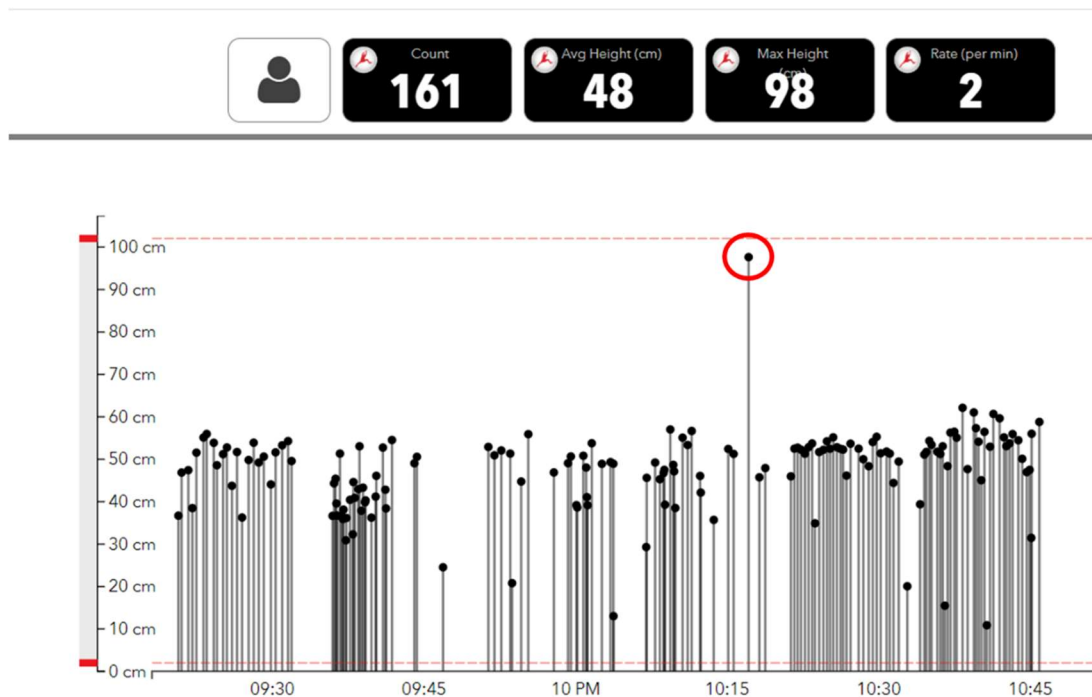
- Gemiddelde spronghoogte: 53 cm
- Uitschieter: 82 cm
- Maximale sprong (uitschieters niet inbegrepen): 70 cm



Figuur 51 Spronghoogtes training 28 november (VERT, 2020)

4.1.2. Training 25 februari 2020

- Gemiddelde spronghoogte: 48 cm
- Uitschieter: 98 cm
- Maximale sprong (uitschieters niet inbegrepen): 62 cm



Figuur 52 Spronghoogtes training 25 februari (VERT, 2020)

4.1.3. Kwaliteitsanalyse

De vraag is nu waar de oorzaak ligt van deze uitschieters. Dit kan aan verschillende factoren te wijten zijn zoals:

- 1) Externe factoren
- 2) Sensor
- 3) Kinematische factoren

Om dit verder uit te zoeken werd een kwaliteitsanalyse uitgevoerd, met als doel de oorzaak van de meetfout te achterhalen aan de hand van verschillende metingen en vergelijkende waarden.

4.2. Mogelijke factoren

4.2.1. Externe factoren

Externe factoren kunnen een invloed hebben op de meetwaarden. Onder externe factoren verstaat men weersomstandigheden, schoeisel, ondergrond of andere externe factoren die het signaal van VERT verstoren. Aangezien de omstandigheden waarin de metingen zijn genomen onveranderd zijn gebleven tijdens de hele periode van de meting, is de kans klein dat hierin de oorzaak van de uitschieters ligt. De andere 2 factoren zullen dus verder onderzocht moeten worden.

4.2.2. Sensor

Zoals eerder aangegeven gebruikt de VERT accelerometers, gyroscopen en magnetometers om versnellingen en hoeksnelheden te meten en daaruit de spronghoogte te bepalen. Mogelijks zorgde een verstoring van deze sensoren voor een uitzonderlijke meetfout.

4.2.3. Kinematica van de sprong

Ook een bepaalde kinematische factor van de sprong kan aan de basis liggen van een uitzonderlijk hoge spronghoogte. Volgende kinematische factoren van de sprong zouden een rol kunnen spelen in het meten van de maximale spronghoogte:

- Aanloop: een extra lange of korte aanloop
- Afstoot: 1 of 2 benen
- Landing: 1 of 2 benen
- *Armswing*: wel of niet

4.3. Testopstelling

Zoals eerder vermeld zijn alle sprongen opgenomen onder dezelfde omstandigheden, en is de meetfout vermoedelijk niet aan externe factoren toe te schrijven. Nu gaan we verder met het opstellen van een test met het oog op het bepalen van de oorzaak van de meetfouten.

De test bestaat uit 2 delen. In het eerste deel worden in totaal 100 sprongen gemaakt. Deze zijn *countermovement jumps* zoals beschreven in deel 2. De bedoeling is om telkens maximaal te springen. Door bij elke meting correct de *countermovement jump* uit te voeren, worden de kinematische factoren zo veel mogelijk beperkt. Op deze manier wordt achterhaald of de meetfout te wijten is aan de sensor.

In deel 2 van de test wordt de rol van de kinematische factor bepaald. Wanneer men vertrekt van een sprong die gemaakt wordt tijdens een training, worden al snel een aantal kinematische factoren geëlimineerd. Zo zijn in deze omstandigheden de aanloop, *armswing* en afstoot ongeveer identiek. Het is dus onmogelijk dat hierin de oorzaak ligt van de uitschieters. Een kinematische factor waar men niet altijd vat op heeft is de landing. Soms moet men de bal raken op een onverwachte plaats of kan men het evenwicht niet goed bewaren tijdens de zweeffase, waardoor de landing niet altijd identiek is: men landt ofwel op 1 been of de benen zijn meer ingetrokken dan normaal. In totaal werden 20 sprongen uitgevoerd en gemeten met de VERT: 10 waarbij werd geland op 1 been en 10 waarbij werd geland met ingetrokken benen.

Elke sprong werd gefilmd en de spronghoogte berekend aan de hand van KINOVEA, een gratis programma voor video-analyse waarmee spronghoogtes kunnen worden gemeten. Voor elke sprong gemeten met de VERT, is er dus een referentiewaarde. En gezien elke sprong gefilmd is kan een eventuele uitschieter ook gemakkelijk worden herbekeken.

4.4. Resultaten

Alle spronghoogtes gemeten door de VERT en KINOVEA werden berekend en verwerkt in een Excel werkblad. De meetdata zijn in bijlage terug te vinden. Voor elke sprong werd het verschil tussen de meting van de VERT en KINOVEA bepaald. Volgende parameters moeten in acht genomen worden bij de interpretatie van de data:

- Elke sprong wordt uitgedrukt in cm;
- Een **positief verschil** duidt erop dat de VERT een **hogere spronghoogte** meet dan KINOVEA;
- Een **negatief verschil** duidt erop dat de VERT een **lagere spronghoogte** meet dan KINOVEA.

4.4.1. Bepalen spronghoogtes met KINOVEA

In tegenstelling tot de VERT, kan men uit KINOVEA niet rechtstreeks de spronghoogte bepalen. KINOVEA meet de afgelegde weg van de sprong. Er wordt een vast punt op het lichaam genomen, dat gedurende de hele sprong goed zichtbaar blijft. In dit geval werd ervoor geopteerd om het midden van de witte bal op het T-shirt, ter hoogte van de borstkas, te kiezen.



Figuur 53 Marker

Dit punt wordt aangeduid op verschillende fases van de sprong aan de hand van *markers* (figuur 53). Tijdens de sprong wordt op basis van deze *markers* een traject aangemaakt van het gekozen voorwerp, in dit geval het midden van de witte bal (figuur 54). Om de spronghoogte te kunnen berekenen moet een *marker* aangeduid worden op het laagste punt van de sprong en het hoogste. Door de sprong *frame per frame* te bekijken kunnen deze fases uit de sprong bepaald worden.



Figuur 54 Traject

Aan de hand van dit traject zal KINOVEA de afgelegde weg van het voorwerp bepalen en hieruit kan men dan de spronghoogte berekenen. De spronghoogte bepaalt men met volgende formule:

$$SH = h_{max} - 2 * h_{min}$$

met $SH = \text{spronghoogte [cm]}$

$h_{min} = \text{afgelegde weg op diepste punt}$

$h_{max} = \text{afgelegde weg op hoogste punt}$

4.4.1.1. Referentielijn

Opdat KINOVEA correct de afgelegde weg zou kunnen berekenen, moet er een referentielijn toegevoegd worden. Dit is een lijn waarvan de lengte exact gekend is. Aan de hand van het aantal pixels die deze lijn in beslag neemt en de ingevoegde lengte, kan KINOVEA de afgelegde weg berekenen. Het is belangrijk dat deze referentielijn in het vlak van de meting ligt. Indien niet zullen de berekende spronghoogtes niet representatief zijn.



Figuur 55 Assenstelsel en referentielijn

4.4.2. Foutenbronnen meting van KINOVEA

De berekende spronghoogtes zijn onderhevig aan een aantal fouten.

4.4.2.1.1. Referentielijn

De lijn die wordt getekend in KINOVEA zal nooit exact overeenkomen met de lijn aangebracht bij de testopstelling.

4.4.2.1.2. 2D-meting

De meting van de afgelegde weg gebeurt in 2D. De afgelegde weg wordt bepaald in het x,y-vlak. Dit wil zeggen dat bewegingen volgens de z-as niet worden opgenomen in de meting. Om een correcte waarde te bekomen moeten de bewegingen in de z-richting geprojecteerd worden op het x,y-vlak.

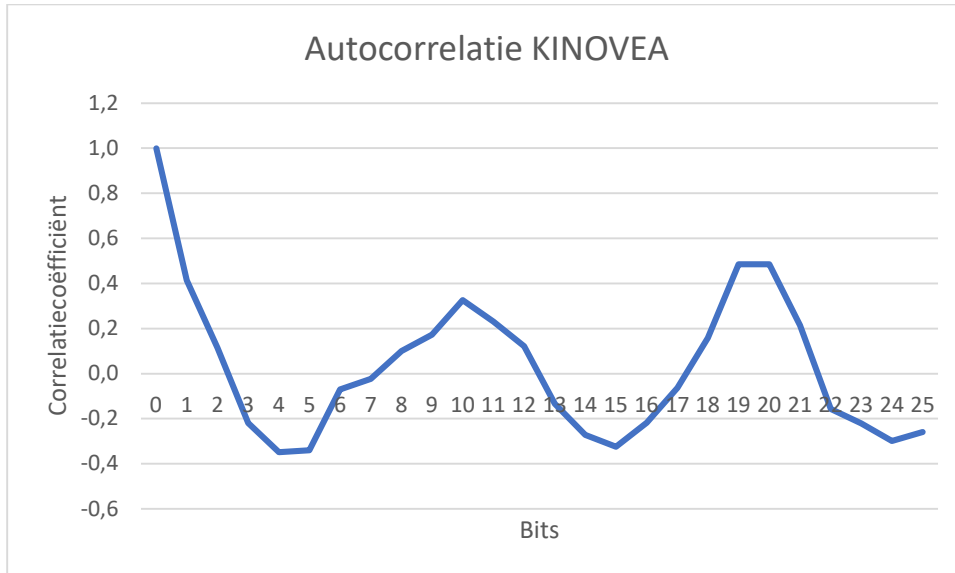
4.4.2.2. Begin- en eindpositie

De beginpositie is de positie in rust vlak voor het begin van de sprong. De eindpositie is de positie op het hoogste punt van de sprong, in de zweeffase. Om bovenstaande vergelijking te gebruiken, moet de eindpositie identiek zijn aan de beginpositie. Dit is niet het geval en zorgt dus voor een kleine fout op de berekening van de spronghoogte.

4.5. Conclusies

4.5.1. Verband tussen de metingen onderling

Vooraleer er gezocht kan worden naar verbanden tussen de waarden van de VERT en KINOVEA, moet er gekeken worden of er geen verband is tussen de waarnemingen van de VERT onderling en de waarnemingen van KINOVEA onderling. De correlatie tussen de waarnemingen onderling zetten we uit in een grafiek.



Figuur 56 Autocorrelatie KINOVEA

Volgende parameters moeten in acht genomen worden om de grafiek correct te interpreteren:

- +1 betekent dat er een perfecte positieve correlatie is;
- - 1 betekent dat er een perfecte negatieve correlatie is;
- 0 betekent dat er geen correlatie is.

4.5.1.1. Conclusie

Aangezien er zelden een correlatiecoëfficiënt wordt gevonden die duidelijk een positieve of negatieve correlatie weergeeft, kan men stellen dat er geen verband is tussen de waarnemingen onderling.

4.5.2. T-test

4.5.2.1. T-waarde

De t-test wordt gebruikt om het verschil in gemiddeldes te vergelijken tussen 2 groepen. Eerst wordt de t-waarde berekend. Eens deze gekend is kan de t-test uitgevoerd worden. Deze test onderzoekt de nulhypothese – dit betekent dat er geen significant verschil is tussen beide groepen. Elk verschil dat gevonden wordt is toe te schrijven aan toeval. De t-test zegt dus of er een significant verschil is tussen beide datasets. (Radford et al., 2007)

Deze t-waarde wordt vergeleken met een kritische t-waarde. De kritische waarde is afhankelijk van het aantal vrijheidsgraden en het gekozen niveau van statistische significantie (meestal $p < 0.05$). De vrijheidsgraden zijn gebaseerd op het aantal waarnemingen en worden als volgt berekend (Shier, 2004):

$d.f. = n - 1$ met $d.f. =$ aantal vrijheidsgraden

$n =$ aantal waarnemingen

Wanneer de berekende t-waarde kleiner is dan de kritische waarde, geldt de nulhypothese. In dit geval is elk waarneembaar verschil toe te schrijven aan toeval. Als de t-waarde groter is dan de kritische waarde dan geldt de nulhypothese niet. De kritische waarde kan worden teruggevonden in de t-tabellen (*tabel 3*). (Radford et al., 2007)

Tabel 3 T-tabel (Radford et al., 2007)

PROBABILITY						
d.f.	0.5	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1.000	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.741	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.718	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.706	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587

4.5.2.2. P-waarde

De t-waarde wordt gekozen in functie van het gekozen niveau van statistische significantie. Dit niveau wordt uitgedrukt in een p-waarde. In de wetenschap wordt een p-waarde kleiner dan 0,05 gebruikt om aan te tonen dat er een significant verschil is ($p < 0,05$). Is een p-waarde kleiner dan 0,05 dan wil dat zeggen dat er minder dan 5% kans is dat de verschillen tussen de datasets toe te schrijven zijn aan toeval. De kans is dus groter dan 95% dat er een significant verschil is. De t-test berekent niet alleen de t-waarde maar ook de bijbehorende p-waarde. (Radford et al., 2007)

4.5.2.3. T-test toegepast

Aan de hand van de t-test werd er nagegaan of het verschil tussen de spronghoogte gemeten door de VERT en door KINOVEA een significant verschil is dan wel toe te schrijven aan toeval. De resultaten van deze test worden weergegeven in *tabel 4*.

Tabel 4 T-test

T-test	
Gemiddelde VERT	38
Gemiddelde KINOVEA	35,89
Gemiddeld verschil	2
Standaard deviatie	2,77
Aantal waarnemingen	100
Standaard fout	0,28
t-waarde	8,24
t-kritische waarde ($p=0,05$)	1,980
p-waarde	7,34E-13
p-waarde (0%)	0,00%

In dit geval werd gekozen voor een gepaarde, tweezijdige t-test. Gepaard omdat de metingen van de VERT en KINOVEA gebeuren voor éénzelfde sprong. Tweezijdig omdat het verschil zowel negatief of positief kan zijn. KINOVEA kan de spronghoogte lager maar ook hoger inschatten dan de VERT.

4.5.2.4. Conclusie

De p-waarde is zo goed als gelijk aan 0. Dit wil zeggen dat de verschillen gemeten door VERT en KINOVEA significante verschillen zijn en dus niet toe te schrijven aan toeval.

4.5.3. Uitschieters meetwaarden VERT

Vooreerst wordt gekeken of in de reeks van 100 *countermovement jumps* opnieuw enkele uitschieters vast te stellen zijn. Om deze uitschieters te bepalen maken we gebruik van de IKA-methode. Aan de hand van de 5-getallen verzameling kunnen we de interkwartielafstand bepalen. (Campens, 2017)

Tabel 5 Uitschieters

Verschil		VERT
5 Getallen		
Min	-6	34
Q1	1	37
Q2 of mediaan	3	39
Q3	4	39
Maximum	8	44
Uitschieters		
IKA	3	2
Ondergrens	-5	34
Bovengrens	9	42

Vergelijking 24 geeft een ondergrens en bovengrens. Alle waarnemingen die buiten dit interval vallen, noemt men uitschieters.

Vergelijking 24 Onder- en bovengrens IKA-methode (Campens, 2017)

$$BG = Q3 + 1.5 * IKA$$

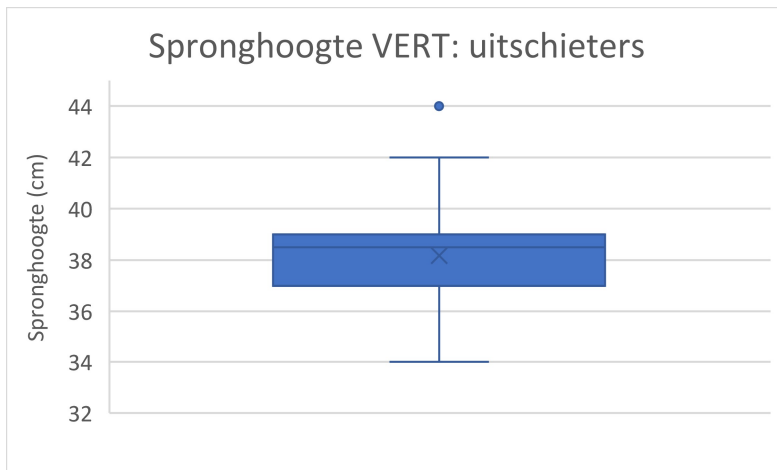
$$OG = Q1 - 1.5 * IKA$$

Wanneer deze methode wordt toegepast op de data van de VERT, zien we dat er 1 uitschieter is: sprong 2.

Tabel 6 Sprong 2

Sprong	VERT (cm)	KINOVEA (cm)	verschil VERT tov KINOVEA (cm)
2	44	43,44	1

Dit ziet men ook duidelijk op onderstaande boxplot (figuur 57).



Figuur 57 Boxplot uitschieters VERT

4.5.3.1. Conclusie

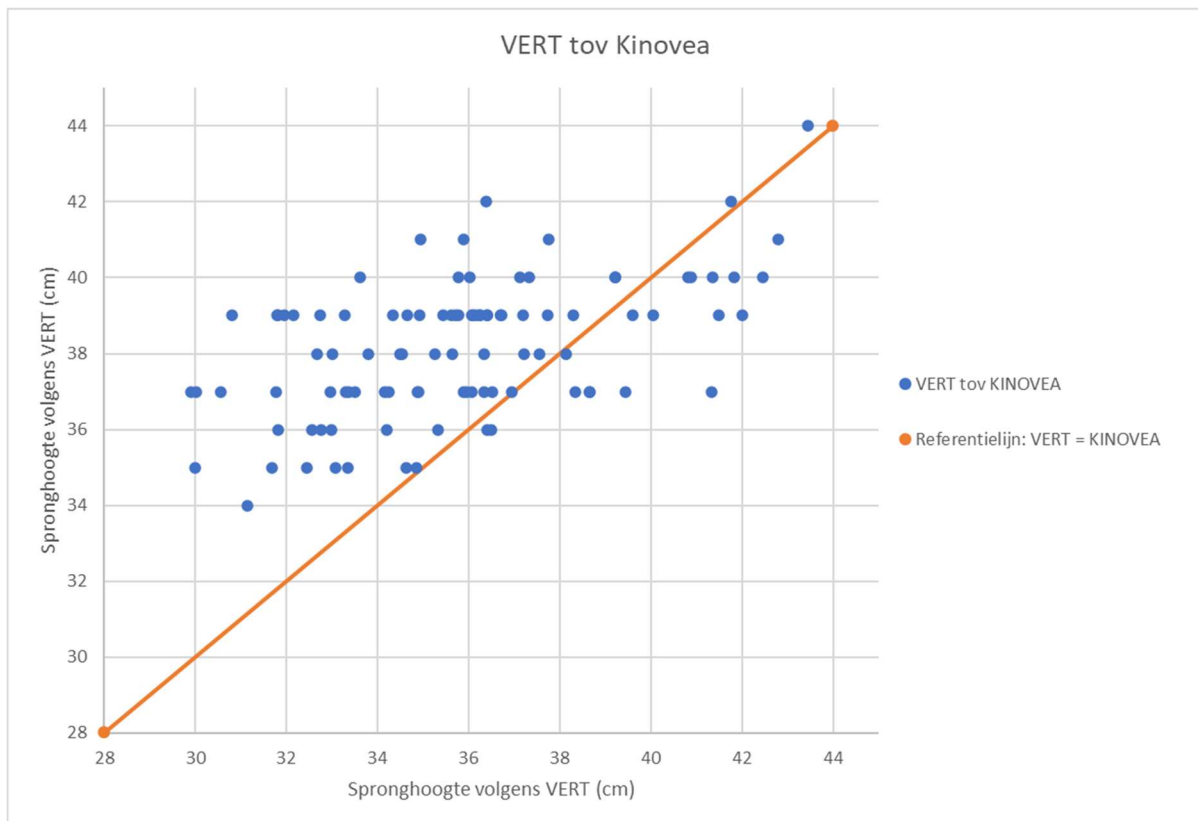
Wanneer men kijkt naar de referentiewaarde gemeten met KINOVEA, ziet men dat de meetwaarden bijna identiek zijn. Volgens de IKA-methode is deze sprong dus een uitschieter, maar controle met KINOVEA leert dat de gemeten waarde in de buurt ligt van de werkelijke spronghoogte. Dit is dus niet een uitschieter zoals we hebben waargenomen tijdens de metingen op training.

4.5.4. Metingen VERT ten opzichte van KINOVEA

Zoals besproken in deel 3, wordt de spronghoogte berekend aan de hand van de *flight time*. Door de versnellingen te integreren krijgen we snelheden. De *take-off* wordt gekenmerkt door een maximale, positieve snelheid. De landing door een negatieve snelheid. Aangezien de maximale snelheid ontstaat vlak voor de daadwerkelijke *take-off* en de snelheid bij landing ontstaat vlak na de daadwerkelijke landing, zorgt dit ervoor dat de *flight time* lichtjes wordt overschat. Deze overschatting zorgt voor een iets hogere gemeten spronghoogte dan de werkelijke. (Rantalainen et al., 2019)

4.5.4.1. Conclusie

Figuur 58 zet de spronghoogte gemeten door de VERT uit ten opzichte van de gemeten spronghoogte door KINOVEA. Er is ook een referentielijn toegevoegd. Indien een meting op deze lijn valt, is de spronghoogte gemeten door de VERT identiek aan die gemeten door KINOVEA.



Figuur 58 Meting VERT ten opzichte van KINOVEA

Men ziet dus duidelijk dat het merendeel van de sprongen gemeten door de VERT hoger wordt ingeschat dan die gemeten door KINOVEA. 81 van de 100 sprongen liggen boven de meetwaarde van KINOVEA (Tabel 7). Gemiddeld gezien bedraagt dit verschil 2 cm.

Tabel 7 Meetwaarden VERT en KINOVEA

	VERT	KINOVEA	Vershil
Min	34	29,91	-6
Max	44	45,21	8
Gemiddelde	38	35,89	2

De overschatting van de *flight time* door de incorrecte inschatting van de snelheidsextrema kan een verklaring zijn voor dit verschil.

4.5.5. “Valse” sprongen

Nu wordt de data gebruikt van de 20 sprongen waarbij de landing gemanipuleerd werd naar een situatie die in training zou kunnen voorkomen. Hier wordt dus de kinematische factor onderzocht. Er wordt terug een *countermovement jump* uitgevoerd, maar de landing zal nu anders zijn dan in voorgaande test. Eerst wordt er 10 keer op 1 been geland (figuur 59). Daarna 10 keer met ingetrokken benen (figuur 60).

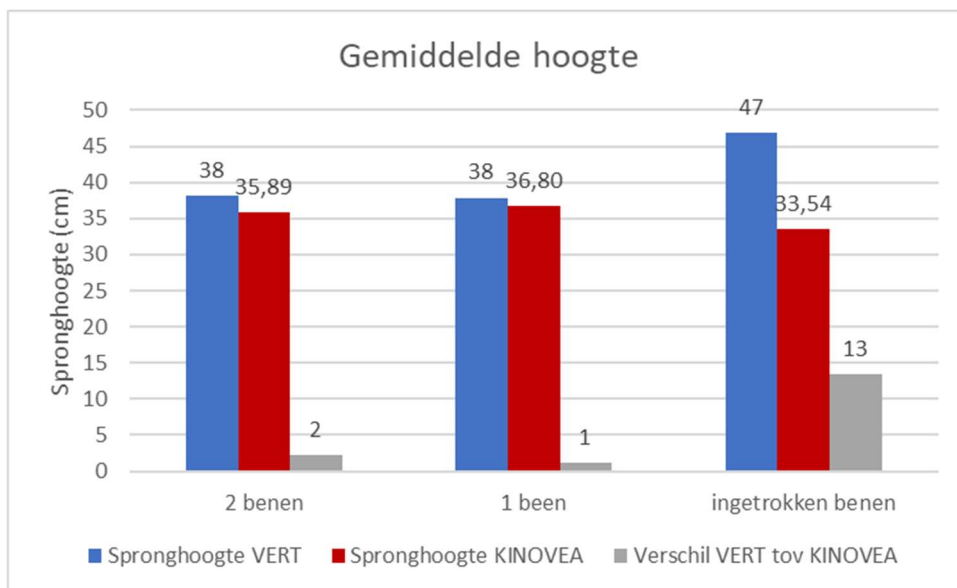


Figuur 59 Landing 1 been



Figuur 60 Landing ingetrokken benen

Net zoals bij de 100 gewone *countermovement jumps* wordt de spronghoogte via de VERT en KINOVEA bepaald. Het verschil wordt terug berekend. Van alle sprongen met de 2 verschillende landingen worden de gemiddeldes bepaald en uitgezet in volgend staafdiagram (figuur 61).



Figuur 61 Gewone sprongen ten opzichte van "valse" sprongen

4.5.5.1. Conclusie

Volgende conclusies kunnen afgeleid worden uit het staafdiagram:

- 1) Net zoals bij de normale sprongen zijn gemiddeld genomen de waarnemingen van de VERT groter dan die van KINOVEA;
- 2) De waarnemingen bij normale landing op 2 benen en op 1 been zijn ongeveer identiek;
- 3) De waarnemingen van de VERT met ingetrokken benen liggen veel hoger dan de waarnemingen van de VERT met andere landing;
- 4) Het verschil tussen de spronghoogte van de VERT ten opzichte van KINOVEA bij een landing met ingetrokken benen is veel groter dan bij de andere landingen.

Volgens *vergelijking 21* wordt de spronghoogte via een IMU bepaald met volgende formule:

$$\begin{aligned} \text{Spronghoogte} &= \frac{g}{8} * (\text{flight time})^2 && \text{met spronghoogte in [m]} \\ & && \text{flight time in [s]} \\ g &= \text{valversnelling} \approx 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

Deze formule maakt dus gebruik van de tijd waarin men zich in de zweeffase bevindt. Dit is dus de tijd tussen *take-off* en landing. Wanneer tijdens de landing de benen iets worden ingetrokken, verlengt men de *flight time* van de sprong. Hierdoor verkrijgt men een grotere spronghoogte dan effectief gesprongen werd.

De meting in KINOVEA is niet de exacte spronghoogte, maar geeft wel een correcte benadering. Stel dat deze waarden de effectieve spronghoogte weergeven, dan meet de VERT gemiddeld gezien spronghoogtes 13 cm hoger dan de werkelijke waarde.

Onderstaande berekening toont dat gemiddeld gezien de *flight time* wordt verlengd met 3 honderdsten van een seconde.

$$0,13 = \frac{g}{8} * (\text{flight time})^2$$

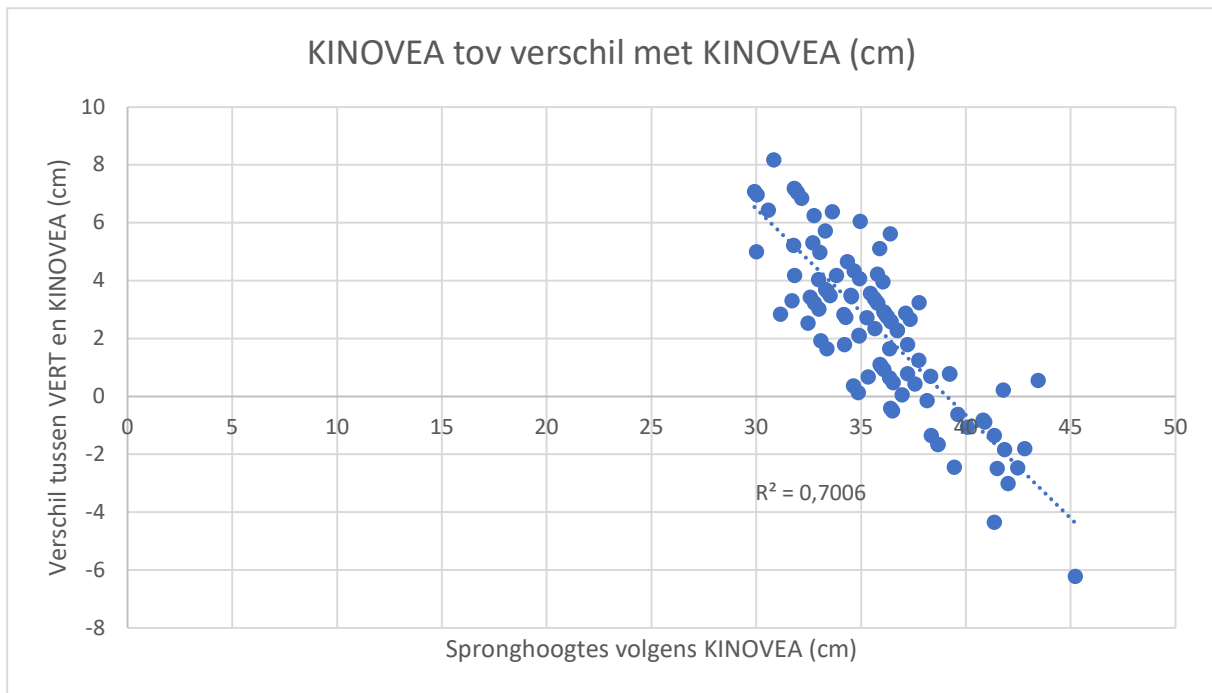
$$\text{flight time} = \sqrt{\frac{8 * 0,13}{9.81}}$$

$$\text{flight time} \approx 0,33 \text{ s}$$

Dit zou dus een goede verklaring kunnen zijn voor de uitschieters gemeten tijdens trainingen. Wanneer tijdens de zweeffase een onvoorziene actie gebeurt, kan de speler evenwicht verliezen en landen met ingetrokken benen. Dit zorgt voor een verlenging van de *flight time*, wat uiteindelijk resulteert in een grotere spronghoogte volgens de VERT.

4.5.6. Waargenomen verschillen en waarnemingen KINOVEA

Wanneer de verschillen tussen de waarnemingen van de VERT en KINOVEA en de waarnemingen van KINOVEA worden uitgezet in een spreidingsgrafiek (*figuur 62*), ziet men dat er een sterke lineaire correlatie bestaat tussen de 2 variabelen.



Figuur 62 Verschil ten opzichte van meting KINOVEA

4.5.6.1. Conclusie

Volgens de spreidingsgrafiek worden lage sprongen door VERT hoger ingeschat dan door KINOVEA. De hoge sprongen worden dan weer hoger ingeschat door KINOVEA dan door de VERT.

Er lijkt geen causaal verband te bestaan tussen de verschillen en de waarnemingen door KINOVEA. Dit wil zeggen dat de correlatie eerder op toeval berust.

4.6. Algemeen besluit

Er kan besloten worden dat de VERT een betrouwbare methode is om het aantal sprongen en bijbehorende spronghoogte te meten tijdens wedstrijden of trainingen, rekening houdend met volgende factoren:

1. De spronghoogte kan gemanipuleerd worden door tijdens de sprong de knieën in te trekken en zo de *flight time* te verlengen. Dit kan zorgen voor uitschieters waar men rekening mee moet houden tijdens de interpretatie van deze data.
2. De gemeten spronghoogte door de VERT wordt lichtjes overschat. Ter vergelijking met KINOVEA is dit gemiddeld gezien ongeveer 2 cm. Deze waarde is enkel geldig in het kader van dit experiment en mag dus niet gebruikt worden bij metingen in andere experimenten.

5. Toepassing

5.1. Training monitoring

Het monitoren van trainingen heeft al een hele evolutie doorgemaakt. In het begin werd vooral de atleet geobserveerd tijdens het uitvoeren van enkele standaard *work-outs*. Vanaf de jaren 50 ging men over naar intervaltraining. Het grote voordeel hiervan is dat de vooruitgang makkelijk gemonitord kan worden. Onder intervaltraining verstaat men dat een bepaald aantal herhalingen worden afgewerkt met daartussen een vaste recuperatietijd. De gemiddelde tijd om het aantal herhalingen uit te voeren werd gebruikt om de progressie in training te meten. Dit wordt ook wel index-training genoemd. (Foster et al., 2017)

Tot hier toe werd vooral gefocust op *external training loads*. Dit wil zeggen dat men vooral kijkt naar wat de atleet kan doen of presteren. Door de evolutie in technologie in het begin van de jaren 80 werd het mogelijk om meer te focussen op *internal training loads*. Aan de hand van draagbare hartslag monitoren en lactaat *analyzers* kon men zich verdiepen in de fysiologische responses van het lichaam van een atleet tijdens training en competitie. (Foster et al., 2017)

Eric Banister en zijn collega's ontwikkelden een nieuwe methode om de *training loads* te bepalen. TRIMP of *training impulse* is een methode die vandaag de dag vele topsporters toepassen om hun prestaties te verbeteren terwijl de kans op blessures minimaal wordt gehouden. (Foster et al., 2017)

5.2. TRIMP

5.2.1. Training loads

TRIMP staat voor *training impulse*. Het is een manier om de *training loads* te bepalen. Maar wat is een *training load*. *Training load data* is een manier om te kijken hoeveel stress een lichaam ondergaat tijdens een inspanning. Elke inspanning is verschillend. Zo is de ene training een recuperatietraining, waar de *loads* dus eerder laag zullen liggen. Op een wedstrijd geeft een atleet meer dan 100%. Hier zullen de *loads* dus weer wat hoger liggen. (Foster et al., 2017)

De *training loads* bepalen geeft ons de mogelijkheid om harder te trainen, tot zelfs tegen de limiet zonder dat erover wordt gegaan. Aan de hand van de *training loads* kan er dus optimaal getraind worden met een minimale kans op blessures. Een *training load* wordt als volgt gedefinieerd (Foster et al., 2017):

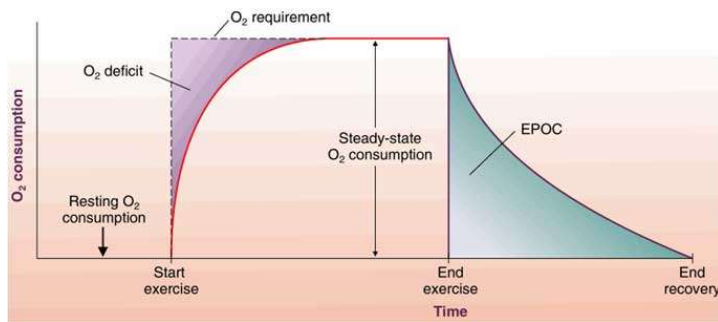
Vergelijking 25 Definitie load (Foster et al., 2017)

$$load = intensiteit * duur$$

Deze definitie wordt vooral gebruikt voor uithoudingssporten zoals lopen, fietsen, zwemmen,... waarbij de ingewonnen data gerelateerd is aan een bepaalde duur binnen een hartslagzone. Stel dat een professionele loper terugkeert uit een rustperiode en zijn looptrainingen weer wil opbouwen. Aan de hand van *training load data* kan men bepalen wanneer de intensiteit van de training omhoog mag gaan. (Foster et al., 2017)

5.2.2. EPOC

Een *training load* wordt uitgedrukt in EPOC. EPOC staat voor *Excess Post Oxygen Consumption*. Wanneer men in beweging is verbruikt het lichaam meer zuurstof dan in rust. Wanneer de inspanning stopt, stopt de nood aan extra zuurstof niet. De hoeveelheid zuurstof die men extra verbruikt in vergelijking met het verbruik in rust noemt men de EPOC. (Coachmefit, z.d.)



Figuur 63 EPOC curve (Coachmefit, z.d.)

De extra zuurstof heeft men nodig voor de recuperatie van het lichaam en het aanvullen van de energiebronnen. De extra verbruikte zuurstof, of EPOC, is dus een getal uitgedrukt in $\frac{ml}{kg}$. Hoe hoger dit getal, hoe groter de geleverde inspanning en hoe langer de recuperatie duurt. Aan de hand van de EPOC kan men dus de impact van een inspanning op het lichaam bepalen. (Firstbeat, 2020)

Via een VO2-max test kan men het interval bepalen waarin een atleet moet trainen. Als men onder dit interval traint, zal de atleet weinig vooruitgang maken. Als men boven dit interval traint, stijgt de kans op blessures. (Firstbeat, 2020)



Figuur 64 Trainingsinterval (Firstbeat, 2020)

Een topatleet kan makkelijk een EPOC halen van meer dan 1000 per week. Stel dat een VO2-max test aantoont dat een atleet een EPOC heeft van 1200. Dan kan hij 5 keer per week een training met een *training load* van 240 afwerken om dit niveau aan te houden. (FirstBeat, 2020)

5.3. Zelf TRIMP bepalen

Tijdens het seizoen 2019-2020 speelde ik voor VT Marke Webis, een club actief op het tweede hoogste niveau in België (Liga B). Echter, enkel in de allerhoogste reeks van het Belgisch volleybal – Liga A - beschikt men over de juiste apparatuur en de nodige budgetten om de TRIMP-methode correct toe te passen. Waardoor jonge talenten, actief op een lager niveau, niet de ideale begeleiding krijgen om eventueel door te groeien naar Liga A-niveau.

Om de TRIMP-methode, of althans een variant ervan, alsnog toe te passen en mijn krachttrainingen te optimaliseren, werd een beroep gedaan op Thibault Elleboudt, student Lichamelijke Opvoeding en Bewegingswetenschappen. Dit kaderde meteen in één van de opdrachten binnen zijn opleiding die bestond in het begeleiden, gedurende 8 weken, van een

atleet met het oog op de verbetering van zijn prestaties. Een opdracht dus die perfect aansluit bij de praktische component van dit eindwerk.

5.3.1. Doel

Het doel van de samenwerking met T. Elleboudt was om zelf de TRIMP-methode toe te passen op mijn wekelijks trainingsschema. Uiteraard beschikten wij niet over het budget noch de apparatuur om een VO₂-max test af te leggen. Het opzet was dus om zelf een goedkope en creatieve oplossing hiervoor te vinden.

Belangrijk is op te merken dat we op zoek zijn gegaan naar onze eigen methode. Waardoor we geen exacte *training loads* konden berekenen, enkel een benadering ervan. Onze methode is een eigen benadering van de TRIMP-methode, en vraagt dus nog verdere uitwerking en testing alvorens deze als toepasbaar kan beschouwd worden. Wat we door de uitbraak van het COVID-19 virus niet volledig hebben kunnen realiseren. De achterliggende theorie echter staat wel grotendeels op punt en wordt in dit deel verder toegelicht.

5.3.2. Weekschema

Volgend schema is een doorsnee weekschema van mezelf als speler bij VT Marke Webis:

Tabel 8 Weekschema

Maandag	Dinsdag	Woensdag	Donderdag	Vrijdag
Fitness 18u-20u	Fitness 19u30-20u45 Baltraining 21u-22u45	Baltraining 20u30-22u30	Fitness 18u-20u	Baltraining 20u30-22u30

Er kunnen dus 2 verschillende trainingen worden onderscheiden:

1. De baltraining: 5u45 min per week. Wordt gekenmerkt door korte en explosieve inspanningen.
2. De krachttraining: 5u15 min per week. Wordt gekenmerkt door krachtige en korte inspanningen.

In totaal werden er dus 11 trainingsuren afgewerkt per week.

5.3.2.1. *Hartslag vs. Power/Kracht*

Zoals eerder vermeld wordt er in de TRIMP-methode gebruik gemaakt van een inspanning tijdens een bepaalde duur in een bepaalde hartslagzone. Bij krachttraining wordt er vaak maar getraind in 1 hartslagzone. Dit zorgt ervoor dat de EPOC minder toepasbaar is in ons verhaal. Om deze reden zijn we op zoek gegaan naar een alternatief. Uiteindelijk hebben we gekozen om de definitie van *load* aan te passen voor zowel krachttraining als baltraining:

*Bij baltraining: load = kracht * duur*

*Bij krachttraining: load = power * duur*

5.3.3. Uitwerking

De vraag is nu hoe we voor zowel kracht als baltraining de *loads* gaan meten. Bij krachttraining willen we power meten. Bij baltrainingen willen we kracht meten.

5.3.3.1. Krachttraining

De *training load* tijdens de krachttraining wordt bepaald door de geleverde *power* en de tijd waarin deze *power* werd geleverd. Er zijn verschillende toestellen die rechtstreeks de geleverde *power* kunnen meten. Wij zijn op zoek gegaan naar een goedkoop alternatief om de *power* te achterhalen. *Power* kan berekend worden met *vergelijking 11* :

$$P = F * v \quad \text{met } P = \text{power in [Watt]}$$

$$F = \text{kracht in [N]}$$

$$v = \text{snelheid in } \left[\frac{m}{s} \right]$$

Wanneer we dus de geleverde kracht kunnen bepalen en de gemiddelde snelheid waarmee deze kracht geleverd is, kunnen we de *power* berekenen.

5.3.3.1.1. Gemiddelde snelheid bepalen

De gemiddelde snelheid kunnen we berekenen door de afgelegde afstand van het gewicht te delen door de tijd waarin het gewicht wordt verplaatst.

Vergelijking 26 gemiddelde snelheid (Giancoli, 2014)

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad v = \text{gemiddelde snelheid in } \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\Delta d = d_e - d_b = \text{afgelegde afstand of range of motion in [m]}$$

$$\Delta t = t_e - t_b = \text{tijdsverschil [s]}$$

De afgelegde afstand of *range of motion* hebben we voor elke oefening in ons krachtprogramma zorgvuldig uitgemeten. De *range of motion*, kortweg ROM, is de afstand gemeten tussen de laagste en hoogste positie van het gewicht.



Figuur 65 Bench press (Coachmag, 2019)

Tabel 9 Range of motion

Rug	ROM (m)
Military press	0,60
Lateral rises	0,60
Borst	ROM (m)
Dip	0,17
Bench press	0,60

De tijd die het gewicht nodig had om de ROM af te leggen werd gemeten met een chronometer.

5.3.3.1.2. Versnelling en kracht

Nu de snelheid gekend is kunnen we de gemiddelde versnelling eenvoudig berekenen met volgende formule:

Vergelijking 27 Gemiddelde versnelling (Giancoli, 2014)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{met } a = \text{gemiddelde versnelling in } \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$\Delta v = v_e - v_b = \text{snelheid in } \left[\frac{m}{s}\right]$$

$$\Delta t = t_e - t_b = \text{tijdsverschil [s]}$$

Het tijdsverschil is identiek aan deze gebruikt voor het berekenen van de snelheid. Eens de versnelling gekend, kan men met *vergelijking 4* de kracht bepalen:

$$F = m * a \quad a = \text{versnelling } \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

De massa is hier niet de massa van de atleet, maar deze van het gewicht. Bij de massa van het gewicht moet ook nog de massa geteld worden van de lichaamsdelen die getild worden. De massa van de lichaamsdelen kan men vinden in onderstaande tabel. Hier wordt de massa uitgedrukt in een percentage van de totale lichaamsmassa. (Plagenhoef et al., 1983)

Tabel 10 Gewicht lichaamssegmenten (Plagenhoef et al., 1983)

Mean Segment Weights

Percentages of Total Body Weight

Segment	Males	Females	Average
Head	8.26	8.2	8.23
Whole Trunk	55.1	53.2	54.15
Thorax	20.1	17.02	18.56
Abdomen	13.06	12.24	12.65
Pelvis	13.66	15.96	14.81
Total Arm	5.7	4.97	5.335
Upper Arm	3.25	2.9	3.075
Forearm	1.87	1.57	1.72
Hand	0.65	0.5	0.575
Forearm & Hand	2.52	2.07	2.295
Total Leg	16.68	18.43	17.555
Thigh	10.5	11.75	11.125
Leg	4.75	5.35	5.05
Foot	1.43	1.33	1.38
Leg & Foot	6.18	6.68	6.43

5.3.3.1.3. Power

Nu hebben we alle gegevens om de *power* tijdens elke herhaling van elke krachttoefening te bepalen. Hieronder ziet u een tabel met de berekende *power* voor elke herhaling van de *bench press*.

Tabel 11 Load voor bench press

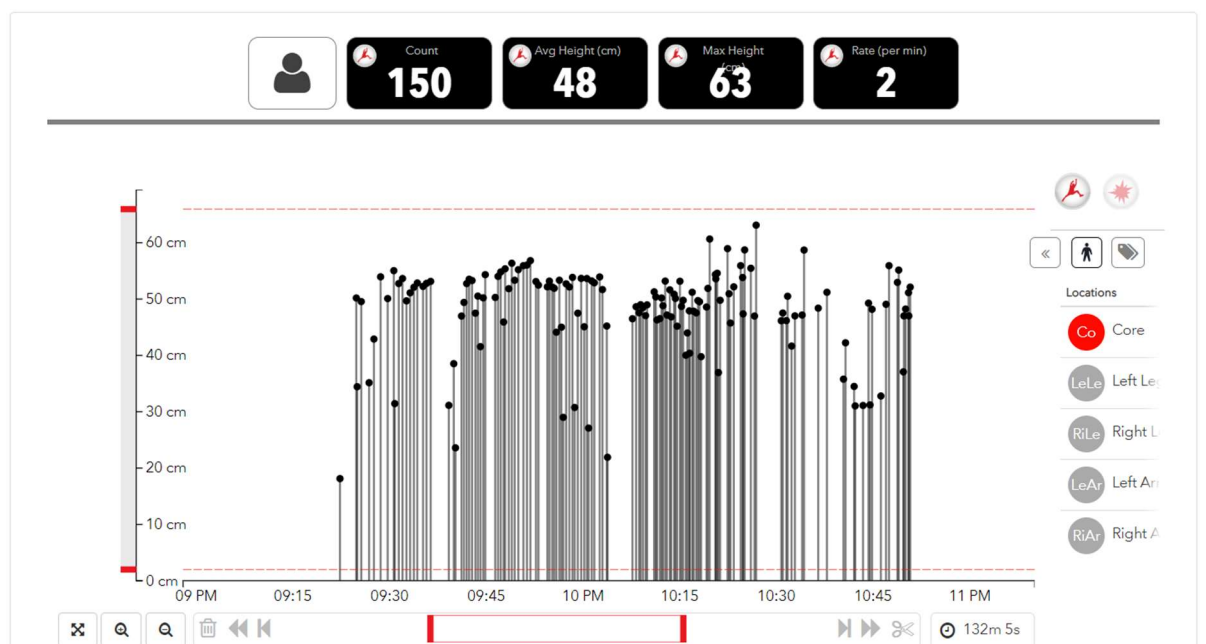
Exercise	Kg %1RM	Load				
		Sec.	m/s	m/s ²	F(N)	P (Watt)
Bench press	50	0,61	0,98	1,61	88,44	86,99
		0,81	0,74	0,91	50,16	37,15
		0,75	0,80	1,07	58,50	46,80
		0,97	0,62	0,64	34,97	21,63
		0,98	0,61	0,62	34,26	20,98
		1,02	0,59	0,58	31,63	18,61
		1,02	0,59	0,58	31,63	18,61
		1,08	0,56	0,51	28,21	15,67
		1,07	0,56	0,52	28,74	16,12
		1,30	0,46	0,36	19,47	8,99

5.3.3.2. Baltraining

In deel 1 zag men dat de meest belastende beweging in volleybal de sprong is. De vele sprongen zorgen voor een grote belasting van het lichaam. En deze belasting willen we weergeven in de *training loads*. Om de *loads* te kwantificeren wilden we de grondreactiekrachten tijdens het landen bepalen. Deze kracht is een goede weerspiegeling van de belasting die inwerkt op het lichaam.

5.3.3.2.1. De VERT

De vraag was nu hoe we de grondreactiekrachten konden bepalen. De VERT gaf hier een antwoord op. Via de VERT konden we de spronghoogte van elke sprong tijdens een volledige baltraining meten. Onderstaande afbeelding is het resultaat van een baltraining op 26 februari 2020:



Figuur 66 Spronghoogtes training 26 februari (VERT, 2020)

Deze spronghoogtes werden omgerekend naar grondreactiekrachten. In onderstaande afbeelding ziet men het werkblad waarin dit werd genoteerd:

Tabel 12 Voorbeeld load baltraining

	Week 1																	
	DIN (25/02/2020)						WOE (26/02/2020)						VRIJ (28/02/2020)					
# sprongen	h(m)	h (m)	V(m/s)	F (N)	F (N)	P(W)	h(m)	h (m)	V(m/s)	F (N)	F (N)	P(W)	h(m)	h (m)	V(m/s)	F (N)	F (N)	P(W)
1	0,59	0,37	2,69	1935,72		5215,47	0,52	0,18	0,94	1369,90		1287,19	0,38	0,22	1,04	1489,02		1546,79
2	0,56	0,47	3,04	2233,53		6782,50	0,47	0,50	1,57	2322,87		3637,72	0,28	0,17	0,91	1340,12		1223,73
3	0,31	0,47	3,04	2233,53		6782,50	0,51	0,34	1,29	1846,38		2384,41	0,44	0,19	0,97	1399,68		1351,21
4	0,47	0,38	2,73	1965,50		5366,80	0,48	0,50	1,57	2322,87		3637,72	0,52	0,19	0,97	1399,68		1351,21
5	0,47	0,52	3,19	2382,43		7609,76	0,47	0,35	1,31	1876,16		2458,24	0,48	0,57	1,67	2531,33		4232,59
6	0,5	0,55	3,28	2471,77		8119,68	0,37	0,43	1,45	2114,41		3070,73	0,40	0,54	1,63	2441,99		3974,30
7	0,54	0,56	3,31	2501,55		8291,87	0,55	0,54	1,63	2441,99		3974,30	0,56	0,58	1,69	2561,11		4319,78
8	0,56	0,54	3,25	2441,99		7948,59	0,53	0,50	1,57	2322,87		3637,72	0,60	0,56	1,66	2501,55		4145,94
9	0,54	0,49	3,10	2293,09		7109,98	0,56	0,55	1,64	2471,77		4059,84	0,52	0,53	1,61	2412,21		3889,31
10	0,53	0,51	3,16	2352,65		7442,03	0,49	0,31	1,23	1757,04		2166,62	0,53	0,57	1,67	2531,33		4232,59
11	0,55	0,53	3,22	2412,21		7778,62	0,33	0,53	1,61	2412,21		3889,31	0,53	0,55	1,64	2471,77		4059,84
12	0,6	0,44	2,94	2144,19		6299,97	0,48	0,54	1,63	2441,99		3974,30	0,49	0,56	1,66	2501,55		4145,94
13	0,61	0,52	3,19	2382,43		7609,76	0,31	0,50	1,57	2322,87		3637,72	0,40	0,56	1,66	2501,55		4145,94
14	0,53	0,36	2,66	1905,94		5065,36	0,49	0,51	1,58	2352,65		3721,02	0,44	0,54	1,63	2441,99		3974,30
15	0,11	0,5	3,13	2322,87		7275,44	0,31	0,52	1,60	2382,43		3804,88	0,50	0,56	1,66	2501,55		4145,94

Hiervoor gebruikten we volgende formule:

Vergelijking 28 Grondreactiekracht bij take-off (Jimenez-Reyes et al., 2017)

$$F = m * g * \left(\frac{h}{h_0} + 1\right) \quad \text{met } F = \text{de grondreactiekracht [N]}$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$h = \text{spronghoogte [m]}$$

$$h_0 = \text{push - off distance [m]}$$

Aan de hand van de berekende krachten kunnen we dan de *loads* bepalen:

Tabel 13 Voorbeeld totale load één week baltraining

	Gemiddelde grondreactiekrachten (N)	Duur (min)	Load
Dinsdag	2248,51	105	236093,49
Woensdag	2265,69	120	271882,75
Vrijdag	2252,74	120	270328,79
	TOTAAL		778305,03

Dit is dus de *training load* van 1 week baltraining.

5.4. Krachtschema

Het opzet was om elke week de totale *training load* te bepalen. Wanneer deze gekend is kunnen we week per week het krachtschema verzwaren, met als doelstelling de *training loads* van het krachtschema wekelijks met 10 percent te laten stijgen. Op voorwaarde weliswaar dat de *loads* van de baltrainingen ongeveer constant blijven of lager liggen. Deze stijging houden we 3 weken vol, gevolgd door een rustweek. Na de rustweek hervatten we met de gewichten uit week 2 en stijgen we weer 10% in *training load* voor een periode van 3 weken. Op deze manier wordt er gezorgd voor progressie met een minimale kans op blessures.

Door het COVID-19 virus hebben we het programma niet kunnen afwerken. We kunnen dus ook niet concluderen of deze manier van training zorgt voor een significante stijging in prestatie.

Referenties

Eindwerken

Schofield, J. (2011). *Quaternions and 3D Rotations* [Thesis]. McMurry University.

Shier, R. (2004). *Statistics: paired t-test* [Thesis]. Loughborough University

Elektronische artikels

Ache Dias, J., Borges, L., Mattos, D., Wentz, M., Domenech, S., Kauffmann, P. & Junior, N. (2011). Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation.

Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance, 13, nr. 5, pp. 367-372.

Geraadpleegd op 28 april 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/221718363_Validity_of_a_new_stabilometric_force_platform_for_postural_balance_evaluation

Altosole, M., Benvenuto, G., Figari, M. & Campora, U. (2009). Real-time simulation of a COGAG naval ship propulsion system. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part M-journal of Engineering for The Maritime Environment*, 223, nr. 1, pp. 47-62.

Geraadpleegd op 21 april 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/245386997_Real-time_simulation_of_a_COGAG_naval_ship_propulsion_system

Bobkowska, K., Nykiel, G., Tysiąc, P. (2017, juni). *DMI measurements impact on a position estimation with lack of GNSS signals during Mobile Mapping*. Paper gepresenteerd op 2th international conference on Measurement Instrumentation and Electronics (Prague, Czech republic). Geraadpleegd op 26 april 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/317520649_DMI_measurements_impact_on_a_position_estimation_with_lack_of_GNSS_signals_during_Mobile_Mapping

Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, nr. 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Ferdinando, H., Khoswanto, H. & Purwanto, D. (2012, juli). *Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATmega8535*. Paper gepresenteerd op Innovations in intelligent Systems and Applications (INISTA) (Trabzon, Turkey). Geraadpleegd op 5 mei 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/261038357_Embedded_Kalman_Filter_for_Inertial_Measurement_Unit_IMU_on_the_ATmega8535

Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J.A. & de Koning, J. (2017). Monitoring training loads: the past, the present and the future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, S2.2 – S2.8. Geraadpleegd op 2 mei 2020 via

<https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijspp/12/s2/article-pS2-2.xml>

Gavin, L.M. (2008). Three Different Methods of Calculating Vertical Jump Height from Force Platform Data in Men and Women, *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12, nr.4, pp. 207-218. Geraadpleegd op 1 mei 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/261873331_Comparison_of_algorithms_to_determine_jump_height_and_flight_time_from_body_mounted_accelerometers

Grainger, M., Weisberg, A., Stergiou, P., & Katz, L. (2019). Comparison of two methods in the estimation of vertical jump height. *Journal of Human Sport and Exercise*, 15, nr. 3, pp. 1-10. Geraadpleegd op 22 april 2020 via <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/97092>

Han, S. & Wang, J. (2011). A Novel Method to Integrate IMU and Magnetometers in Attitude and Heading Reference Systems. *Journal of Navigation*, 64, nr.4, pp. 727 - 738.

Geraadpleegd op 2 mei 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/231822510_A_Novel_Method_to_Integrate_IMU_and_Magnetometers_in_Attitude_and_Heading_Reference_Systems

Jaitner, T., Ekber, G. & Schemidt, M. (2017, juni). *Estimation of the jump height for the volleybal spike by a mobile IMU unit*. Paper gepresenteerd op 35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports (Cologne, Germany). Geraadpleegd op 6 mei 2020 via <https://commons.nmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1243&context=isbs>

Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Badillo, J.J. & Morin, J.B.(2017). Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, nr.1, pp. 36-43. Geraadpleegd op 18 mei 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/299368299_Validity_of_a_Simple_Method_for_Measuring_Force-Velocity-Power_Profile_in_Countermovement_Jump

Krishnan, G., Kshirsagar, C., Ananthasuresh, G. & Bhat, N. (2007). Micromachined High-Resolution Accelerometers. *Journal of the Indian Institute of Science*, 87, nr. 3, pp. 333-361. Geraadpleegd op 2 mei 2020 via https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-an-accelerometer_fig13_239542403

Kukko, A., Kaartinen, H., Hyypä, J. & Chen, Y. (2012). Multiplatform Mobile Laser Scanning: Usability and Performance. *Sensors*, 12, pp. 11712-11733. Geraadpleegd op 1 mei 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Marques, M.C. & Marinho, D.A. (2009). Physical parameters and performance values in starters and non-starters volleyball players: A brief research note. *Motricidade*, 5, nr. 10.

Geraadpleegd op 8 april 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/42607526_Physical_parameters_and_performance_values_in_starters_and_non-starters_volleyball_players_A_brief_research_note

McMahon, J., Suchomel, T., Lake, J. & Comfort, P. (2018). Understanding the Key Phases of the Countermovement Jump Force-Time Curve. *Strength and conditioning journal*, 40, nr.4, Geraadpleegd op 1 mei 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/322540215_Understanding_the_Key_Phases_of_the_Countermovement_Jump_Force-Time_Curve

Moir, G. (2008). Three Different Methods of Calculating Vertical Jump Height from Force Platform Data in Men and Women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12, Nr. 4, pp. 207-218. Geraadpleegd op 8 mei 2020 via

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10913670802349766>

Monnet, T., Decatoire, A. & Lacouture, P. (2014). Comparison of algorithms to determine jump height and flight time from body mounted accelerometers. *Sports Engineering*, 17, nr.4. Geraadpleegd op 28 april 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/261873331_Comparison_of_algorithms_to_determine_jump_height_and_flight_time_from_body_mounted_accelerometers

Passaro, V., Cuccovillo, A., Vaiani, L., Carlo, M. & Campanella, C.E. (2017). Gyroscope Technology and Applications: A Review in the Industrial Perspective. *Sensors*, 17, nr. 10, pp. 1-23. Geraadpleegd op 2 mei 2020 via https://www.researchgate.net/publication/320292459_Gyroscope_Technology_and_Applications_A_Review_in_the_Industrial_Perspective

Picerno, P., Camomilla, V. & Capranica, L. (2011). Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *Journal of sports sciences*, 29, nr. 2, pp. 139-146. Geraadpleegd op 8 mei 2020 via https://www.researchgate.net/publication/49648098_Countermovement_jump_performance_assessment_using_a_wearable_3D_inertial_measurement_unit

Plagenhoef, S., Evans, F.G. and Abdelnour, T. (1983) Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54, pp.169-178. Geraadpleegd op 13 mei 2020 via <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02701367.1983.10605290>

Popescu, G., Balota, L. & Iordan, D. (2015, juni). *Section Photogrammetry and Remote Sensing DIRECT GEOREFERENCING APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAMMETRY USING A GNSS/IMU/SENSOR SYSTEM*. Paper gepresenteerd op 15th International Scientific GeoConference SGEM (Albena, Bulgaria). Geraadpleegd op 2 mei 2020 via https://www.researchgate.net/publication/313509816_Section_Photogrammetry_and_Remote_Sensing_DIRECT_GEOREFERENCING_APPLICATION_OF_AERIAL_PHOTOGRAMMETRY_USING_A_GNSSIMUSENSOR_SYSTEM?

Radford, L., Freeman, J.V. & Walter, S.J. (2007). Use of statistical tables. *Scope*, 2, pp. 17-23. Geraadpleegd op 18 mei 2020 via https://www.sheffield.ac.uk/polopoly_fs/1.43999!/file/tutorial-10-reading-tables.pdf

Rantalainen, T., Finni, T. & Walker, S. (2019). Jump height from inertial recordings: A tutorial for a sports scientist. *Scand J Med Sci Sports*, 30, pp. 38–45. Geraadpleegd op 10 mei 2020 via <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/sms.13546>

Sole, C., Mizuguchi, S., Sato, K., Moir, G. & Stone, M. (2017). Phase Characteristics of the Countermovement Jump Force-Time Curve: A Comparison of Athletes by Jumping Ability. *Journal of strength and conditioning research*, 32, nr. 4, pp. 1155-1164. Geraadpleegd op 26 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/317849705_Phase_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Force-Time_Curve_A_Comparison_of_Athletes_by_Jumping_Ability

Stagno, K., Thatcher, R. & van Someren, K. (2007) A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports Sciences*, 25, nr.6, pp. 629-634. Geraadpleegd op 28 april 2020 via <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640410600811817>

van Baar, R. (2018). Monitoring van spronghoogte en belasting: een kijkje achter de schermen bij het nationale mannenvolleybalteam. *Sportgericht*, 72, nr.2, pp. 2- 7. Geraadpleegd op 21 april 2020 via <https://docplayer.nl/115030281-Monitoring-van-spronghoogte-en-belasting-een-kijkje-achter-de-schermen-bij-het-nationale-mannenvolleybalteam.html>

Yan-Bin, J. (2015). Quaternions and Rotations. *Com S*, 477, nr. 577. Geraadpleegd op 5 mei 2020 via <https://pdfs.semanticscholar.org/a008/49dd6075976296c963112bf4f37940e243c9.pdf>

Figuren

Figuur 1: van Baar, R. (2018). Monitoring van spronghoogte en belasting: een kijkje achter de schermen bij het nationale mannenvolleybalteam. *Sportgericht*, 72, nr.2, pp. 2- 7. Geraadpleegd op 21 april 2020 via <https://docplayer.nl/115030281-Monitoring-van-spronghoogte-en-belasting-een-kijkje-achter-de-schermen-bij-het-nationale-mannenvolleybalteam.html>

Figuur 2: Barbell sumo squat (z.d.). Geraadpleegd op 6 april 2020 via <https://weighttraining.guide/exercises/barbell-sumo-squat/>

Figuur 3: Medicine ball throw (2010). Geraadpleegd op 6 april 2020 via <https://www.youtube.com/watch?v=30GwNZMydvk>

Figuur 4: Flat bench press (z.d.). Geraadpleegd op 6 april 2020 via <https://www.dutch4health.nl/fitness-oefeningen/bankdrukken/>

Figuur 5: For the First Time Ever, Panasonic's Image Analysis Technology "3D Tracking" Integrated into Live TV Broadcast of World Cup Volleyball 2019 (2019). Geraadpleegd op 16 april 2020 via <https://news.panasonic.com/global/topics/2019/72016.html>

Figuur 6: van Baar, R. (2018). Monitoring van spronghoogte en belasting: een kijkje achter de schermen bij het nationale mannenvolleybalteam. *Sportgericht*, 72, nr.2, pp. 2- 7. Geraadpleegd op 21 april 2020 via <https://docplayer.nl/115030281-Monitoring-van-spronghoogte-en-belasting-een-kijkje-achter-de-schermen-bij-het-nationale-mannenvolleybalteam.html>

Figuur 8: De gravitatieconstante G in de gravitatiewet van Newton (2008). Geraadpleegd op 15 april 2020 via <https://nl.wikipedia.org/wiki/Gravitatieconstante#/media/Bestand:NewtonsLawOfUniversalGravitation.svg>

Figuur 9: Ache Dias, J., Borges, L., Mattos, D. & Wentz, M., Domenech, S., Kauffmann, P. & Junior, N. (2011). Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, 13, nr. 5, pp. 367-372. Geraadpleegd op 28 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/221718363_Validity_of_a_new_stabilometric_force_platform_for_postural_balance_evaluation

Figuur 10: Rekstrookje (2012). Geraadpleegd p 15 april 2020 via https://nl.wikipedia.org/wiki/Rekstrookje#/media/Bestand:Strain_gauge.svg

Figuur 12: Wheatstone bridge (2019). Geraadpleegd op 15 april 2020 via https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Wheatstone_bridge.jpg

Figuur 13: Load cell working principle and connections (2018). Geraadpleegd op 15 april 2020 via <https://www.youtube.com/watch?v=4LJdunFI6NI&t=204s>

Figuur 14: Height of the Countermovement Vertical Jump Determined Based on the Measurements Coming from the Motion Capture System (2019). Geraadpleegd op 16 april 2020 via https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-15472-1_21

Figuur 15: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Figuur 17: Altosole, M., Benvenuto, G. & Figari, M. & Campora, U. (2009). Real-time simulation of a COGAG naval ship propulsion system. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part M-journal of Engineering for The Maritime Environment*, 223, nr. 1, pp. 47-62. Geraadpleegd op 21 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/245386997_Real-time_simulation_of_a_COGAG_naval_ship_propulsion_system

Figuur 18: 3D puntenwolk (z.d.). Geraadpleegd op 17 april 2020 via <https://www.mobile-mapping.be/techniek/puntenwolk/>

Figuur 19: Kukko, A., Kaartinen, H., Hyyppä, J & Chen, Y. (2012). Multiplatform Mobile Laser Scanning: Usability and Performance. *Sensors*, 12, pp. 11712-33. Geraadpleegd op 1 mei 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Figuur 20: Roman, A. & Ursu, T. (2016). Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. Geraadpleegd op 14 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/315797574_Multispectral_satellite_imagery_and_airborne_laser_scanning_techniques_for_the_detection_of_archaeological_vegetation_marks/citation/download

Figuur 21: Digitaal Hoogtemodel (DHMV) (z.d.). Geraadpleegd op 12 april 2020 via <https://overheid.vlaanderen.be/informatie-vlaanderen/producten-diensten/digitaal-hoogtemodel-dhmv>

Figuur 22: VERT Jump Monitor is the first wearable for jump rate (2015). Geraadpleegd op 30 maart 2020 via <https://www.sportswearable.net/vert-jump-monitor-is-the-first-wearable-for-jump-rate/>

Figuur 23: Event 528175 (2020). Geraadpleegd op 18 april 2020 via <http://app.myvert.com/trainer/events/528175>

Figuur 26: Principe van een condensator (2003). Geraadpleegd op 18 april 2020 via https://nl.wikipedia.org/wiki/Condensator#/media/Bestand:Capacitor_principle_sketch.jpg

Figuur 27: Schema condensator (2011). Geraadpleegd op 13 april 2020 via <https://nl.wikipedia.org/wiki/Condensator#/media/Bestand:Kapacitans.svg>

Figuur 32: Coriolis Force (z.d.). Geraadpleegd op 17 april 2020 via [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/fw/crls.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/fw/crls.xml)

Figuur 34: Righthand rule (2020). Geraadpleegd op 14 april 2020 via <https://github.com/gnea/grbl/wiki/Grbl-v1.1-Configuration>

Figuur 38: Magnetisch veld aarde doet vreemd en dat kan voorbode zijn van ingrijpend verschijnsel (2019). Geraadpleegd op 20 april 2020 via <https://www.hln.be/wetenschap-planeet/magnetisch-veld-aarde-doet-vreemd-en-dat-kan-voorbode-zijn-van-ingrijpend-verschijnsel~ac1f3b44/>

Figuur 45: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Figuur 46: Picerno, P., Camomilla, V. & Capranica, L. (2011). Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *Journal of sports sciences*, 29, nr. 2, pp. 139-146. Geraadpleegd op 8 mei 2020 via https://www.researchgate.net/publication/49648098_Countermovement_jump_performance_assessment_using_a_wearable_3D_inertial_measurement_unit

Figuur 47: 2D-rotatie (2020). Geraadpleegd op 28 april 2020 via <https://www.geogebra.org/classic>

Figuur 48: Quaternions and 3d rotation, explained interactively (2018). Geraadpleegd op 24 april 2020 via <https://www.youtube.com/watch?v=zjMulxRvygQ>

Figuur 49: Quaternions and 3d rotation, explained interactively (2018). Geraadpleegd op 24 april 2020 via <https://www.youtube.com/watch?v=zjMulxRvygQ>

Figuur 50: Quaternions and 3d rotation, explained interactively (2018). Geraadpleegd op 24 april 2020 via <https://www.youtube.com/watch?v=zjMulxRvygQ>

Figuur 51: Event 487271 (2020). Geraadpleegd op 23 april 2020 via <http://app.myvert.com/trainer/events/487271>

Figuur 52: Event 528175 (2020). Geraadpleegd op 23 april 2020 via <http://app.myvert.com/trainer/events/528175>

Figuur 63: Excess post oxygen consumption (EPOC) (z.d.). Geraadpleegd op 15 mei 2020 via <https://coachmefit.nl/kennisbank/health-facts/excess-post-oxygen-consumption-epoc/>

Figuur 64: Ask the Expert: What Is Training Load? And How Can It Help Me? (z.d.) Geraadpleegd op 7 mei 2020 via <https://www.firstbeat.com/en/blog/what-is-training-load-and-how-can-it-help-me/>

Figuur 65: How to master the bench press (2019). Geraadpleegd op 3 mei 2020 via <https://www.coachmag.co.uk/exercises/chest-exercises/186/bench-press-technique-tips>

Figuur 66: Event 528911 (2020). Geraadpleegd op 8 mei 2020 via <http://app.myvert.com/trainer/events/528911>

Handboeken

Acke, A. (2013). *Elektriciteit deel II* [Syllabus]. KaHo Sint-Lieven, Industriële wetenschappen.

Campens, C. (2017). *Statistische verwerking* [Syllabus]. HoGent, Natuur & Techniek.

Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.

Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel II: elektriciteit, magnetisme, optica en moderne fysica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.

Tabellen

Tabel 3: Radford, L., Freeman, J.V. & Walter, S.J. (2007). Use of statistical tables. *Scope*, 2, pp. 17-23. Geraadpleegd op 18 mei 2020 via https://www.sheffield.ac.uk/polopoly_fs/1.439991/file/tutorial-10-reading-tables.pdf

Tabel 11: Plagenhoef, S., Evans, F.G. and Abdelnour, T. (1983) Anatomical data for analyzing human motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54, pp.169-178. Geraadpleegd op 13 mei 2020 via <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02701367.1983.10605290>

Vergelijkingen

Vergelijking 1: One repetition maximum (2020). Geraadpleegd op 3 april 2020 via https://en.wikipedia.org/wiki/One-repetition_maximum

Vergelijking 2: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.

Vergelijking 3: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.

Vergelijking 4: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.

Vergelijking 5: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel II: elektriciteit, magnetisme, optica en moderne fysica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.

Vergelijking 6: Acke, A. (2013). *Elektriciteit deel II* [Syllabus]. KaHo Sint-Lieven, Industriële wetenschappen.

Vergelijking 7: Acke, A. (2013). *Elektriciteit deel II* [Syllabus]. KaHo Sint-Lieven, Industriële wetenschappen.

Vergelijking 8: Acke, A. (2013). *Elektriciteit deel II* [Syllabus]. KaHo Sint-Lieven, Industriële wetenschappen.

Vergelijking 9: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Vergelijking 10: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Vergelijking 11: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Vergelijking 12: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

Vergelijking 13: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel

- Vergelijking 14: Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A., Lake, J. & Mundy, P. (2017). Force-Time Characteristics of the Countermovement Jump: Analyzing the Curve in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 40, 2. Geraadpleegd op 29 april 2020 via https://www.researchgate.net/publication/321787886_Force-Time_Characteristics_of_the_Countermovement_Jump_Analyzing_the_Curve_in_Excel
- Vergelijking 15: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 16: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 16: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 17: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 18: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel II: elektriciteit, magnetisme, optica en moderne fysica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 19: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel II: elektriciteit, magnetisme, optica en moderne fysica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 20: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel II: elektriciteit, magnetisme, optica en moderne fysica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 21: Rantalainen, T., Finni, T. & Walker, S. (2019). Jump height from inertial recordings: A tutorial for a sports scientist. *Scand J Med Sci Sports*, 30, pp. 38–45. Geraadpleegd op 10 mei 2020 via <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/sms.13546>
- Vergelijking 22: Rantalainen, T., Finni, T. & Walker, S. (2019). Jump height from inertial recordings: A tutorial for a sports scientist. *Scand J Med Sci Sports*, 30, pp. 38–45. Geraadpleegd op 10 mei 2020 via <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/sms.13546>
- Vergelijking 23: Shier, R. (2004). *Statistics: paired t-test* [Thesis]. Loughborough University
- Vergelijking 24: Campens, C. (2017). *Statistische verwerking* [Syllabus]. HoGent, Natuur & Techniek.
- Vergelijking 25: Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J.A. & de Koning, J. (2017) Monitoring training loads: the past, the present and the future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, S2.2 – S2.8. Geraadpleegd op 2 mei 2020 via <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijspp/12/s2/article-pS2-2.xml>
- Vergelijking 26: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.
- Vergelijking 27: Giancoli, D.C. (2014). *Natuurkunde deel I: mechanica & thermodynamica*. (4^{de} druk). Amsterdam: Pearson Benelux.

Vergelijking 28: Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Badillo, J.J. & Morin, J.B. (2017). Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, nr.1, pp. 36-43. Geraadpleegd op 18 mei 2020 via

https://www.researchgate.net/publication/299368299_Validity_of_a_Simple_Method_for_Measuring_Force-Velocity-Power_Profile_in_Countermovement_Jump

Video's

How accelerometer works? | Working of accelerometer in a smartphone | MEMS inside accelerometer (2017). Geraadpleegd op 15 april 2020 via https://www.youtube.com/watch?v=T_iXLNkkjFo&t=179s

How gyroscope works | Learn under 5 min | Gyroscope in a smartphone | MEMS inside gyroscope (2017). Geraadpleegd op 15 april 2020 via <https://www.youtube.com/watch?v=ti4HEgd4Fgo>

How magnetometer works? | Working of magnetometer in a smartphone | MEMS inside magnetometer (2017). Geraadpleegd op 15 april 2020 via https://www.youtube.com/watch?v=_ZiLwoCIRGQ&t=15s

Quaternions and 3d rotation, explained interactively (2018). Geraadpleegd op 24 april 2020 via <https://www.youtube.com/watch?v=zjMulxRvygQ>

Websites

52021827 Vertical Jump Measurement IMU Device User Manual VERT MANUAL MAYFONK (2020). Geraadpleegd op 14 april 2020 via <https://fccid.io/2AAJO52021827/User-Manual/Users-Manual-2027818>

Ask the Expert: What Is Training Load? And How Can It Help Me? (2020). Geraadpleegd op 7 mei 2020 via <https://www.firstbeat.com/en/blog/what-is-training-load-and-how-can-it-help-me/>

Digitaal Hoogtemodel (DHMV) (z.d.). Geraadpleegd op 18 april 2020 via <https://overheid.vlaanderen.be/informatie-vlaanderen/producten-diensten/digitaal-hoogtemodel-dhmv>

Excess post oxygen consumption (EPOC) (z.d.). Geraadpleegd op 15 mei 2020 via <https://coachmeft.nl/kennisbank/health-facts/excess-post-oxygen-consumption-epoc/>

For the First Time Ever, Panasonic's Image Analysis Technology "3D Tracking" Integrated into Live TV Broadcast of World Cup Volleyball 2019 (2019). Geraadpleegd op 16 april 2020 via <https://news.panasonic.com/global/topics/2019/72016.html>

Mobile mapping (z.d.). Geraadpleegd op 16 april 2020 via <https://teccon.be/diensten/mobile-mapping/mobile-mapping-techniek/>

Olympische spelen in de Klassieke Oudheid (2020). Geraadpleegd op 3 april 2020 via https://nl.wikipedia.org/wiki/Olympische_Spelen_in_de_Klassieke_Oudheid

One repetition maximum (2020). Geraadpleegd op 3 april 2020 via https://en.wikipedia.org/wiki/One-repetition_maximum

Rekstroomje (2020). Geraadpleegd op 16 april 2020 via <https://nl.wikipedia.org/wiki/Rekstroomje>

So what exactly is a force plate? (z.d.) Geraadpleegd op 18 april 2020 via <https://www.hawkindynamics.com/blog/what-is-a-force-plate>

THE OPTIMA HPS IS A REVOLUTIONARY DEVELOPMENT IN FORCE MEASUREMENT TECHNOLOGY, OFFERING A 10-FOLD IMPROVEMENT OVER ANY FORCE PLATFORM SYSTEM ON THE MARKET (z.d.) Geraadpleegd op 11 april 2020 via <https://amti.biz/optima.aspx>

The working principle of a compression load cell (z.d.) Geraadpleegd op 16 april via <https://www.hbm.com/en/7325/the-working-principle-of-a-compression-load-cell/>

VERT (z.d.) Geraadpleegd op 14 april 2020 via <https://www.myvert.com/gvert>

Bijlagen

Gewone sprongen

Kwaliteitsanalyse			
Sprong	VERT (cm)	KINOVEA (cm)	verschil VERT tov KINOVEA (cm)
1	40	39,21	1
2	44	43,44	1
3	40	39,22	1
4	42	36,38	6
5	37	36,52	0
6	38	35,27	3
7	38	35,65	2
8	39	33,28	6
9	38	34,54	3
10	39	36,09	3
11	39	36,41	3
12	39	37,20	2
13	36	36,40	0
14	39	38,30	1
15	36	35,32	1
16	37	34,88	2
17	37	33,37	4
18	37	34,16	3
19	35	33,07	2
20	34	31,15	3
21	40	42,46	-2
22	40	41,83	-2
23	39	41,48	-2
24	41	35,88	5
25	39	39,61	-1
26	39	32,15	7
27	36	31,81	4
28	40	40,81	-1
29	40	35,77	4
30	40	36,03	4
31	39	35,61	3
32	39	36,17	3
33	39	36,72	2
34	40	33,61	6
35	39	37,74	1
36	37	41,34	-4
37	41	34,94	6
38	39	36,41	3
39	37	30,03	7
40	39	36,25	3

41	40	41,35	-1
42	39	40,06	-1
43	37	38,34	-1
44	37	36,07	1
45	35	34,86	0
46	37	33,51	3
47	37	34,26	3
48	38	37,21	1
49	39	35,43	4
50	39	31,83	7
51	39	35,78	3
52	37	36,94	0
53	38	37,56	0
54	37	36,35	1
55	37	33,30	4
56	35	33,35	2
57	35	32,46	3
58	35	31,69	3
59	39	31,95	7
60	39	36,71	2
61	39	42,00	-3
62	37	38,65	-2
63	37	39,44	-2
64	37	35,89	1
65	39	34,34	5
66	35	30,00	5
67	37	32,96	4
68	38	32,68	5
69	36	34,20	2
70	36	32,57	3
71	42	41,77	0
72	39	45,21	-6
73	40	40,88	-1
74	39	34,92	4
75	38	33,81	4
76	37	29,91	7
77	37	35,96	1
78	37	31,77	5
79	37	34,90	2
80	39	32,74	6
81	40	37,12	3
82	38	36,35	2
83	36	36,49	0
84	35	34,63	0
85	36	32,76	3
86	38	34,50	4
87	39	31,80	7
88	39	36,24	3

89	37	38,65	-2
90	38	38,14	0
91	41	42,80	-2
92	41	37,75	3
93	40	37,33	3
94	38	33,02	5
95	37	30,56	6
96	39	34,66	4
97	39	30,82	8
98	39	35,72	3
99	36	32,98	3
100	39	36,07	3

“Valse” sprongen

Valse sprongen				
Sprong	VERT	KINOVEA	Verschil	Landing
1	38	43,00	-5	1 been
2	40	41,65	-2	1 been
3	36	41,18	-5	1 been
4	37	39,53	-3	1 been
5	48	35,55	12	1 been
6	36	35,89	0	1 been
7	36	29,60	6	1 been
8	35	32,99	2	1 been
9	37	35,78	1	1 been
10	36	32,78	3	1 been
1	45	34,40	11	ingetrokken benen
2	44	30,54	13	ingetrokken benen
3	50	31,21	19	ingetrokken benen
4	50	29,95	20	ingetrokken benen
5	44	39,24	5	ingetrokken benen
6	49	40,72	8	ingetrokken benen
7	47	32,00	15	ingetrokken benen
8	50	33,71	16	ingetrokken benen
9	43	27,86	15	ingetrokken benen
10	47	35,75	11	ingetrokken benen